

МЕТОД И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ОБНАРУЖЕНИЯ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ

Аннотация. В статье проведен системный анализ проблем, связанных с образованием и применением торфа, включая его повышенную пожарную опасность. Предложен метод и автоматизированный комплекс обнаружения, предотвращения и тушения пожаров торфяников "стволами-термозондами" с помощью охлажденного атмосферного азота, получаемого методом термомагнитной сепарации воздуха.

Ключевые слова: торф, пожар, обнаружение, предотвращение, тушение.

V.V. Belozerov, A.A. Nesterov, J.G. Plahotnikov, J.V. Prus

METHOD AND THE AUTOMATED COMPLEX OF DETECTION, PREVENTION AND SUPPRESSION OF PEAT FIRES

Abstract. In article the system analysis of the problems connected with formation and application of peat, including its raised fire danger is carried out. The method and the automated complex of detection, prevention and suppression of fires of peatbogs by "trunks-thermoprobes" by means of the cooled atmospheric nitrogen received by a method of thermomagnetic separation of air is offered.

Key words: peat, fire, detection, prevention, suppression.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 сентября 2010 г.

По разным оценкам, в мире от 250 до 500 млрд тонн торфа (в пересчете на 40 % влажность), он покрывает около 3 % площади суши (в Германии 4,8 %, в Швеции 14 %, в Финляндии 30,6 %). В России, лидирующей по запасам торфа, доля занятых им площадей достигает 31,8 % в Томской области, 12,5 % в Вологодской и т.д. Также большие запасы торфа имеются в Индонезии, Канаде, Ирландии, Великобритании, ряде штатов США и на Украине [1, 2].

Сегодня торф используют в сельском хозяйстве и животноводстве, медицине, биохимии и энергетике. Развитие современных производственных технологий позволяет получать с помощью торфа плодородные грунты для выращивания пищевых растений, удобрения, стимуляторы роста растений, изоляционные материалы и т.п. Актуальность его промышленного освоения заключается в том, что *торф является возобновляемым источником*. Ежегодно в мире образуется почти 3,0 млрд м³ торфа, что примерно в 120 раз больше, чем используется [1, 2].

Разработке торфа предшествуют осушение и подготовка поверхности. Подготовка поверхности месторождения выполняется после сооружения осушительной сети и окончания предварительного осушения залежи. Именно в

этом случае возникает **опасность самовозгорания торфа**. При этом не обязательен приток тепла извне. В процессе участвуют микроорганизмы, продукты жизнедеятельности которых, накапливаются в анаэробных условиях и приводят к постепенному прогреванию массы торфа до 60-65 °С. При процессах деструкции и последующем повышении температуры торф превращается в полукокс, склонный к самовозгоранию при наличии и под действием кислорода воздуха. Самонагревание происходит со скоростью от 0,5 до 4,5 °С/сутки и более и постепенно ускоряется. К возгоранию может быть склонен также и добытый торф в процессе его хранения [3, 4].

Таким образом, актуальность разработки методов и средств предотвращения и тушения загораний торфяников очевидна, но до настоящего времени, как показали пожары торфяников в Подмосковье, не решена.

Бесполезность тушения торфа водой доказана В. Сретенским [5], который потушил своим способом торфяники в Удмуртии, затем в 1991 г. – в Балатовском лесу Перми и под Новосибирском, в 2001 г. – в Пермском районе: *"так как в торфе содержится до 25 % битума, который воду задерживает, то тление будет продолжаться до полного выгорания даже под слоем воды. Но есть одна особенность. Горит торф при 600 °С, а всего в каких-то 20-30 сантиметрах от кромки пожара температура торфа негорящего – уже лишь 10-15 °С, из-за его высокой теплоизолирующей способности. Поэтому простое механическое смешивание позволяет резко сбросить температуру в очаге до его полного угасания. Выполняется же это обычными бульдозерами в течение каких-то часов и без привлечения кого-либо, кроме механизаторов"*.

Аналогичным образом В. Сретенский в 2005 г. потушил тысячетонные отвалы коры на Краснокамском ЦБК, однако до настоящего времени многочисленные патенты в области тушения торфяных пожаров "продолжают использовать воду" и создавать специальные средства для этого [6].

Общим недостатком "водяных методов и средств", помимо их неэффективности, является **нарушение эксплуатации залежей торфа**, т.е. его добычи и использования.

Дело в том, что торф имеет сложный химический состав, который определяется условиями генезиса, химическим составом растений-торфообразователей и степенью разложения: *углерод 50-60 %, водород 5-6,5 %, кислород 30-40 %, азот 1-3 %, сера 0,1-1,5 %* (иногда 2,5) на горючую массу. В компонентном составе органической массы содержание водорастворимых веществ *1-5 %, битумов 2-10 %, легкогидролизуемых соединений 20-40 %, целлюлозы 4-10 %, гуминовых кислот 15-50 %, лизинга 5-20 %*.

Торф – сложная полидисперсная многокомпонентная система; его физические свойства зависят от свойств отдельных частей, соотношений между ними, степени разложения или дисперсности твёрдой части, оцениваемой удельной поверхностью или содержанием фракций размером менее 250 мкм. Для торфа характерны большое влагосодержание в естественном залегании (88-96 %), пористость до 96-97 % и высокий коэффициент сжимаемости при компрессионных испытаниях. Слаборазложившийся **торф** в сухом состоянии **име-**

ет малую плотность (до 0,3 г/см³), низкий коэффициент теплопроводности и высокую газопоглотительную способность; торф высокой дисперсности (после механической переработки) образует при сушке плотные куски с большой механической прочностью и теплотворной способностью 2650-3120 ккал/кг (при 40 % влажности). Слаборазложившийся торф – отличный фильтрующий материал. Торф поглощает и удерживает значительные количества влаги, аммиака, катионов (особенно тяжелых металлов). *Коэффициент фильтрации торфа изменяется в пределах нескольких порядков [1, 4].*

Помимо способа В. Сретенского, известны и другие безводные способы предотвращения распространения, локализации и тушения пожаров на торфяных месторождениях, один из которых, например, заключается в создании барьера по контуру наиболее пожароопасных участков до возникновения очагов возгорания и во время пожаров. Барьер состоит из смеси измельченных карбонатсодержащей (с содержанием карбоната магния и/или карбоната кальция в сумме не менее 90 %) и опал-кristобалитовой (с содержанием оксида кремния не менее 80 %) пород, взятых в соотношении 2:1 с добавкой глинистых минералов 7 % и кремнефтористого натрия 3 %, до 100 % к основной смеси. В качестве карбонатсодержащей породы могут быть использованы магнезит, доломит, известняк, а в качестве опал-кristобалитовой породы – трепел, опока, диатомит. При подходе пожара к траншее минеральный материал нагревается и разлагается с выделением углекислого газа, который, смешиваясь с воздухом, снижает содержание в нем кислорода. Оксиды магния и кальция, в свою очередь, начинают взаимодействовать с аморфным оксидом кремния и указанными добавками с образованием устойчивых к высоким температурам соединений, образуя пористый барьер, препятствующий распространению огня за пределы барьера. Недостатком этого способа, как и других аналогичных [7], являются *высокие* единовременные и эксплуатационные *затраты* на его осуществление, а также *отсутствие возможности* осуществлять локацию и *предотвращать загорания* торфа на ранней стадии.

Существует способ локации подземных пожаров, сущность которого заключается в том, что дополнительный индикаторный газ запускают в выработанное пространство под контуром пожара и в момент изменения величины перепада давления газа между выработанным пространством и дневной поверхностью определяют появление на поверхности запускаемого газа и изменение концентрации пожарных газов, измеряют интервалы времени между запуском и выходом газа на поверхность и между изменением перепада давления и изменением содержания пожарных газов на поверхности [3]. Недостатком данного способа, *помимо больших единовременных и эксплуатационных затрат*, является невозможность его использования на торфяниках, которые ещё не эксплуатируются.

Известны многочисленные способы повышения эффективности тушения торфяных пожаров водой с применением *электрических* [8], *акустических* [9] и *физико-химических* [10] *методов и средств*. Однако, указанная выше неэф-

фektivность использования воды при этом, очевидно "свела на нет" их использование.

Существуют способы тушения лесов и торфяников различными агрегатными состояниями газов: *"бомбами" с жидким азотом, "брикетами" с гранулами диоксида углерода и инертным газом*, представляющим собой воздух, "очищенный от кислорода" мембранным аппаратом [3]. Общим недостатком указанных методов и средств является их "поверхностная эффективность", в то время как загорание и развитие торфяных пожаров происходит в глубине, недосягаемой для них.

Как известно [11], атмосферный воздух имеет следующий состав:

азот (N_2) – 78,08 % (28,01 а.е.);

кислород (O_2) – 20,95 % (31,99 а.е.);

инертные газы (0,934 %): аргон (Ar) – 0,93 % (39,94 а.е.), неон (Ne) – 0,002 % (20,18 а.е.), гелий (He) – 0,0005 % (4,00 а.е.), криптон (Kr) – 0,0001 % (83,81 а.е.), ксенон (Xe) – 0,00001 % (131,29 а.е.);

вода (H_2O) – 0,5 % (18 а.е.);

оксиды углерода (CO, CO_2) – 0,03 % (28-44 а.е.);

предельные углеводороды (0,0003 %): метан (CH_4) – 0,0002 % (16 а.е.), пропан (C_2H_6) – 0,00005 % (30 а.е.) и др.;

водород (H_2) – 0,00006 % (2 а.е.);

остальные компоненты (NH_3, SO_2, NO, O_3) – 0,0001 %.

Существенным при этом является тот факт, что все указанные газовые компоненты являются диамагнетиками, за исключением кислорода, который является парамагнетиком, в связи с чем могут быть разделены в неоднородном температурном и магнитном поле в соответствии с распределением Больцмана [12]:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{\alpha H^2}{2kT}\right) = \rho_0 \exp\left(-\frac{U}{kT}\right), \quad (1)$$

где $U = -\frac{\alpha H^2}{2}$ – потенциальная энергия отдельной молекулы газа, обладающего пара- или диамагнитными свойствами, находящегося во внешнем неоднородном магнитном поле.

В силу принципа детального равновесия и в соответствии с уравнением Эйлера

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -grad(p) - \rho \cdot grad\left(-\frac{\alpha H^2}{2m}\right), \quad (2)$$

данное рассмотрение справедливо и для смеси газов с различными магнитными свойствами в отношении каждой отдельной компоненты смеси, с той лишь разницей, что распределению плотности каждой отдельной компоненты в смеси газов ρ_i соответствует свое собственное распределение Больцмана (1), в которое входит магнитная поляризуемость отдельной молекулы определенной компоненты смеси газов:

$$\rho_i = \rho_{0i} \exp\left(\frac{\alpha_i H^2}{2kT}\right) = \rho_{0i} \exp\left(-\frac{U_i}{kT}\right). \quad (3)$$

Так для молекул кислорода (O_2), обладающего парамагнитными свойствами, магнитная поляризуемость отдельной молекулы α – положительна, а для азота (N_2) и остальных атмосферных газов, обладающих диамагнитными свойствами, магнитная поляризуемость отдельной молекулы α – отрицательна, то плотность кислорода в воздухе будет увеличиваться в области сильного магнитного поля, а плотность азота и остальных компонент – уменьшаться, так как потенциальная энергия отдельной молекулы зависит от квадрата напряженности магнитного поля внутри канала сепаратора (3).

Моделирование длины трубы кислородного сепаратора, достаточной для разделения кислорода и азотной компонент воздушной смеси (табл. 1), с учётом диффузионной модели установления термодинамического равновесия, при скорости потока до 1 м/с, составило 7 м, что позволило сконструировать компактное устройство, "закрутив канал в витковую трубу", для оптимизации геометрических размеров [13].

Таблица 1

Концентрация O_2 и N_2 в канале ТМСВ-ТПП ($H=3,0$ Тл., $T= -40^{\circ}C$).

Толщина слоя (см)	Концентрация O_2 (%)	Концентрация N_2 (с остальными газами %)
0,1	98,20	1,70
0,2	80,00	19,90
0,3	61,80	38,10
0,4	наноперегородка	наноперегородка
0,5	20,90	78,10
0,6	19,50	79,50
0,7	19,27	79,73
0,8	19,23	79,77
0,9	19,17	79,83
1,0	19,08	79,92
1,1	18,94	80,06
1,2	18,74	80,26
1,3	18,40	80,50
1,4	17,97	81,03
1,5	17,28	81,72
1,6	16,24	82,76
1,7	14,68	84,32
1,8	12,35	86,65
1,9	8,85	90,15
2,0	3,50	95,40

Примечание: жирным шрифтом выделены измеренные значения, остальные – вычислены.

Применение компрессора и термомагнитного сепаратора воздуха (ТМСВ) вместо водяного насоса на мотопомпе позволяет создать способ и автоматизированный комплекс (АК) обнаружения, предотвращения и тушения торфяных пожаров, при котором в качестве средства обнаружения предпожарной ситуации или пожара используются газовые торфяные стволы-термозонды (ГТС-ТЗ), отличающиеся от "водяных" тем, что в каждом из них установлены два тепловых сенсора (ТС), позволяющие контролировать температуру наконечника и середины ствола, чем обнаруживать недопустимый разогрев торфа, после чего через них вместо воды в обнаруженную зону подавать инертный газ – воздух, лишенный кислорода, охлажденный до температуры минус 40 °С, осуществляя таким образом "выдавливание кислорода" из зоны действия ствола и охлаждение участка торфяника до "замораживания" в нём молекул воды", контролируемого тепловыми сенсорами (после прекращения подачи газа) с помощью контроллера по изменению градиентов температуры ГТС-ТЗ.

Указанный процесс ведется одновременно несколькими ГТС-ТЗ, устанавливаемыми на определенных расстояниях друг от друга, зависящими от градиентов температур и их абсолютных значений, которые определяются контроллером и индицируются на пульте оператора АК, а программа обработки полученных значений предлагает ему варианты перестановки ГТС-ТЗ до тех пор, пока предпожарная ситуация или пожар на торфянике не подавлены или оператором не остановлен процесс, данные о котором записываются контроллером на жесткий диск.

Автоматизированный комплекс (АК), реализующий указанный способ, состоит из мотопомпы (например, "Гейзер-1200", 1600"), компрессора, ТМСВ, ресивера, контроллера и соединенных с ними нескольких ГТС-ТЗ (рис. 1).

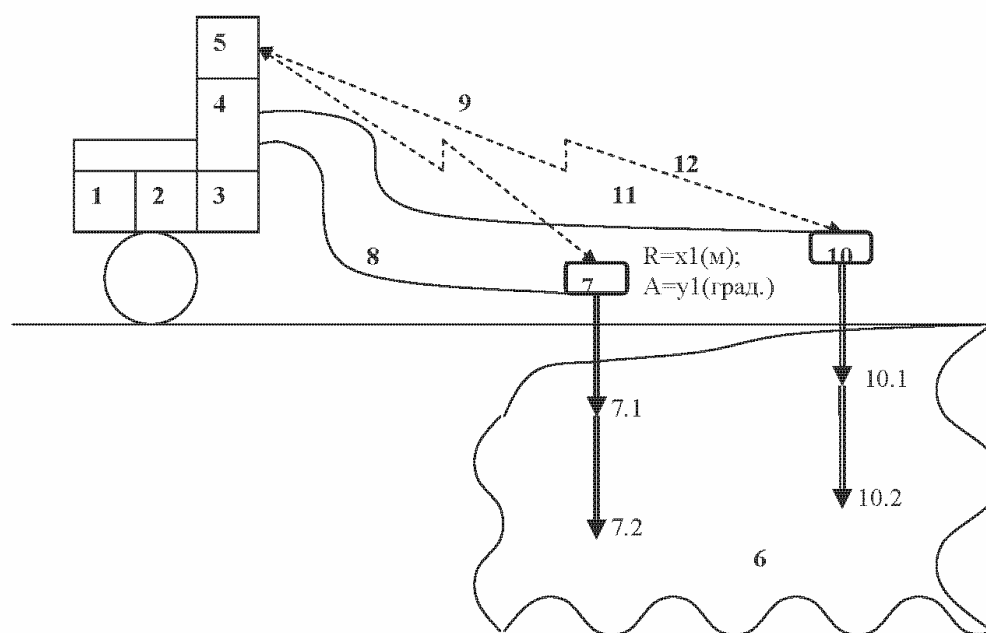


Рис. 1. Структурная схема АК обнаружения, предотвращения и тушения торфяника

Передвижной АК (фиг. 1), в котором вместо водяного насоса на привод двигателя внутреннего сгорания (ДВС) – 1, смонтирован воздушный компрессор (ВК) – 2, подключенный к термомагнитному сепаратору воздуха (ТМСВ) – 3, диамагнитный подканал которого включен в диамагнитный ресивер (ДР) – 4, а кислородный подканал – в кислородный ресивер (КР-на схеме не показан), устанавливаются около торфяника – 6, включают контроллер с радиомодемом – 5, питающийся от аккумулятора ДВС – 1, и вводят координаты места установки АК (*град.* и *мин.* широты и долготы), после чего втыкают в начало торфяника 1-й ГТС-ТЗ – 7, предварительно соединив его рукавом – 8 с ДР – 4 и включают его радиомодем (РМ).

Контроллер – 5 по радиоканалу – 9 через РМ – 7 опрашивает тепловые сенсоры (ТС) – 7.1 и 7.2 ГТС-ТЗ, определяя абсолютные значения температур торфа в двух точках и вычисляя градиент между ними. Если полученные данные не превышают допустимых значений, то контроллер – 5 вычисляет место установки следующего ГТС-ТЗ и выдает на пульт оператора азимут – A (*град.* и *мин.*) и расстояние – R (*м*) до следующей точки измерений, куда втыкается 2-й ГТС-ТЗ – 10, предварительно соединенный рукавом – 11 с ДР – 4 и включается его РМ, в который включены тепловые сенсоры (ТС) – 10.1 и 10.2. Указанный процесс повторяется до тех пор, пока не будет прозондирован весь торфяник, а его "образ" (географический и тепловой) будет зафиксирован на жестком диске контроллера – 5.

Если контроллер – 5 обнаруживает "предпожарное" состояние или пожар, то он запускает ДВС – 1, управляет компрессором – 2, ТМСВ – 3 и регуляторами расхода и давления (РРД), установленными в ДР – 4 (на схеме не показаны) перед соединительными муфтами с рукавами – 8, 11 и т.д., подающими в каждый ГТС-ТЗ охлажденный инертный газ (азот с остальными диамагнетиками воздуха) с интенсивностями и временами, зависящими от градиентов температур и их абсолютных значений, контролируя температуру ствола, а следовательно – температуру инертного газа в интервале от минус 40 °С (ТС – 7.1 и 10.1) до температуры саморазогрева (плюс 50-80 °С), пожара (плюс 200-500 °С) или "замораживания" (минус 1-10 градусов Цельсия) в реальном масштабе времени. Процесс "насыщения" диамагнетиками и охлаждения зоны действия ГТС-ТЗ является периодическим, т.е. по истечении установленного времени ингибирования, контроллер прекращает подачу диамагнетиков через соответствующий РРД и, в течение установленного времени контролирует производные температур, прогнозируя значения температур, которые установятся без дальнейшей подачи диамагнетиков. Если прогнозируемое значение равно температуре замерзания молекул воды (0 °С), то контроллер выдает на пульт оператора азимут – A и расстояние до следующей точки измерений, куда необходимо переставить данный (например, 7-й) ГТС-ТЗ или сообщение о выключении данного зонда и окончании процесса. В противном случае контроллер пересчитывает

интенсивность и время подачи инертного газа и через соответствующий РРД осуществляет дальнейшее ингибирование и охлаждение зоны торфяника.

Описанный выше процесс осуществляется до предотвращения или тушения пожара на всём торфянике или его части.

Сепарированный из воздуха кислород стравливается в атмосферу через выпускной электромагнитный клапан кислородного ресивера по команде контроллера.

Аналогично стравливается азот из диамагнитного ресивера, если производительность цепи ДВС – компрессор – ТМСВ – ДР оказывается выше изменяемого контроллером расхода диамагнетиков для предотвращения предпожарной ситуации или тушения пожара.

Применение способа и автоматизированного комплекса (АК) обнаружения, предотвращения и тушения торфяных пожаров, *позволяет принципиально по-новому решить проблемы пожарной и экологической безопасности торфяников, а также ресурсосбережения возобновляемого энергоносителя – торфа* [14].

Неконкурируемыми качествами и существенными преимуществами предлагаемого способа и автоматизированного комплекса (АК) обнаружения, предотвращения и тушения торфяных пожаров, являются:

- возможность транспортирования АК любым мобильным и даже гужевым средством (если, например, он скомпонован на базе мотопомпы "Гейзер-1200");
- кроме горючего для двигателя мотопомпы и батареек (или подзаряжаемых миниаккумуляторов) для ГТС-ТЗ не требуется никаких огнетушащих составов и энергии;
- не требуется специальной подготовки оператора АК (работника лесоохраны или добровольной пожарной дружины) для его эксплуатации.

Литература

1. **Тюремнов С.Н.** Торфяные месторождения. М.: "Недра", 1976. 182 с.
2. **Bowman A.F.** Soils and the Greenhouse Effect, 1990.
3. **Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.** Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
4. **Самовозгорание торфа** / Горная энциклопедия – <http://www.mining-enc.ru/s/samovozgoranie-torfa>.
5. **Авторское** свидетельство № 1591999 от 15.05.1990, заявитель – НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства г. Пермь.
6. **Система** тушения лесоторфяных пожаров с использованием мотопомпы "ГЕЙЗЕР" и специального торфяного ствола – <http://www.systempro.ru/tovar/system>.
7. **Способ** предупреждения и локализации пожаров в торфяниках. Патент РФ № 2318561 от 13.03.2006.
8. **Авторское** свидетельство № 1362139, заявка 3984474/03 от 03.12.1985, опубл. 27.08.1995. Способ тушения очагов эндогенных пожаров в скоплениях твердых полезных ископаемых.

9. **Заявка** на изобретение № 2002132872/12 от 02.12.2002, опубл. 20.08.2004. Способ и устройство для предупреждения возгорания торфяников, а также тушения их в случае горения.

10. **ТОФАСИЛ** (Беларусь): тушение и локализация торфяных пожаров в местностях с дефицитом воды и/или трудностью ее доставки к очагу горения – http://www.fhp.bsu.by/_private/rus/razrabotki.files/ognetyshenie.htm.

11. **Политехнический** словарь /под. ред. акад. Артоболевского И.И. / – М.: Сов. энциклопедия, 1976. С. 85.

12. **Электромагнитная** сепарация кислорода / Белозёров В.В, Лерер А.М., Новакович А.А., Босый С.И., Мотин В.Н. // Сб. докл. VII Межд. симпозиума "Порядок, беспорядок и свойства оксидов"/ОДРО-2004, Сочи, 13-16 сентября 2004 г., ISBN 5-8480-0450-1, Ростов н/Д, РГПУ, 2004., С. 30-33.

13. **Способ** терромагнитной сепарации воздуха и устройство для его осуществления / Белозёров В.В., Босый С.И., Новакович А.А., Толмачев Г.Н., Видецких Ю.А., Пирогов М.Г. Заявка № 2006135993/15 от 12.10.2006.

14. **Белозёров В.В., Новакович А.А., Топольский Н.Г.** Модель сепаратора воздуха для систем безопасности // Сб. матер. 12-й Междунар. конф. "Системы безопасности" – СБ 2003 (ISBN 5-9229-0013-7). М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. С. 198-199.