УДК 662.641:[614.844+004.93]

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ЗАЩИТЫ ТОРФЯНИКОВ

Белозеров В.В., Быков Д.А.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: safeting@mail.ru

В статье проведен системный анализ проблем, связанных с исследованием торфяных залежей, с их разработкой, хранением и применением торфа, в том числе с его способностью к саморазогреву. Показано, что тушение торфяных пожаров водой лишает возможности эксплуатировать торфяные месторождения, то есть практически уничтожает этот энергетический ресурс. Предложена модель автоматизированного комплекса обнаружения, предотвращения и тушения пожаров существующими газовыми торфяными стволами, которые дорабатываются в термоэлектронды и позволяют подавить процесс самовозгорания торфа с помощью азота, получаемого методом мембранной сепарации воздуха мобильной установкой ТГА-5/10, выпускаемой Краснодарским компрессорным заводом, защищенной отечественным патентом на промышленный образец. Методология исследования базируется на новом отечественном способе «азотирования» торфа, который защищен патентом России на изобретение. Новизна исследования заключается в том, что при разработке модели мобильного автоматизированного комплекса, помимо тепловой локации и подавления очага саморазогрева торфа газоторфяными стволами термоэлектрондами, предлагаемого в указанном патенте России, синтезирована схема вертикального электрозондирования торфяника путем соответствующей доработки газоторфяных стволов в термоэлектронды. При этом для достоверного обнаружения очага саморазогрева используется метод четырехточечной пассивной локации (разностно-дальномерной с базово-корреляционной обработкой), которая значительно достовернее метода триангуляции.

Ключевые слова: торф, самовозгорание торфяников, термоэлектрондирование, тепловая локация, очаг самовозгорания, сепарация воздуха, азотирование торфа

THE AUTOMATED COMPLEX OF PROTECTION OF PEAT BOGS

Belozerov V.V., Bykov D.A.

Federal State Educational Institution of the Higher Education «Don State Technical University»,
Rostov-on-Don, e-mail: safeting@mail.ru

In article systems analysis of problems, the bound to a research of peat deposits, with their development, storage and use of peat, including with its ability to self-heating is carried out. It is shown that suppression of the peat fires by water deprives of an opportunity to operate peat fields. The model of the automated complex of detection, prevention and suppression of the fires is offered by the existing gas peat trunks which are improved in thermoelectrodes, and allow to suppress process of self-ignition of peat by means of the nitrogen received by an air separation method. The methodology of a research is based on the new domestic way «nitriding» of peat which is protected by the patent of the Russian Federation for an invention. The novelty of a research is that at model building of the mobile automated complex, besides a thermal location and suppression of the center of self-heating of the peat gas-peat trunks thermoprobes offered in the specified patent of the Russian Federation the scheme of vertical electrointubation of the peat bog, by the corresponding completion of gas-peat trunks in thermoelectrodes is synthesized. At the same time, for reliable detection of the center of self-heating the method 4 a pointwise passive location (difference and ranging with basic and correlative processing) which is much more reliable than a triangulation method is used.

Keywords: peat, self-ignition of peat bogs, thermoelectrodes, thermal location, self-ignition center, air separation, peat nitriding

Торф является возобновляемым природным ископаемым. Мировой ресурс торфа, по оценкам экспертов составляет от 250 до 500 млрд т. При этом ежегодно в мире образуется почти 3,0 млрд м³ торфа, что на два порядка (!) больше, чем используется [1, 2].

Лидером по запасам торфа является Канада, где сосредоточено 170 млрд т, второе место у России – 150 млрд т. Далее следуют – Швеция, Финляндия, Германия, Белоруссия и т.д. При этом прирост запасов торфа оценивается в среднем в 150 тысяч тонн на каждые 1 млрд т запасов, поэтому в ряде стран торф относится к энергоресурсам, как биотопливо, и теплоэлек-

тростанции на нем вносят существенный вклад в энергетику [3]:

- в Финляндии 15% тепловой энергии получают за счет торфа,
- в Ирландии 10% генерации электроэнергии приходится на торф,
- в Белоруссии доля торфа в энергобалансе достигает 5%.

Системный анализ проблемы

Советский Союз являлся первой страной в мире по учтенным запасам торфа в количестве 200 млрд т, в том числе в России – 154,6 млрд т, со следующим распределением по типам (табл. 1): верховой торф составляет 81,7 млрд т, переходной –

23,4 млрд т, низинный – 44,7 млрд т и смешанный – 4,7 млрд т [2].

В настоящее время торфяная промышленность стала неконкурентоспособной по сравнению с угольной – с точки зрения топлива, а с нефтегазовой и химической – как сырья (для удобрений и прочих продуктов). Это произошло, прежде всего, из-за затратного механизма его добычи, хранения и переработки. В России торфяники занимают площадь 64,7 млн га, площадь болот составляет 154,2 млн га, лесов 774,3 млн га, кустарников – 26,8 млн га, пашни – 123 млн га, со следующим распределением по вещественному составу (рис. 1).

Ранее по размерам добычи торфа Россия занимала первое место в мире. Торф использовался комплексно – как топливо, для удобрений, в строительстве, в медицинских целях, в химической промышленности и др. Так, в 1950-е гг. в России ежегодно добывалось более 50 млн т торфа, которые использовались на 80 электростанциях, работающих на торфе, и для производства сельскохозяйственных удобрений объемом более 150 млн т в год. В этот период индустриального расцвета торфяной отрасли активно функционировали более 300 торфо-предприятий. Такие производственные объединения, как «Ленторф», «Калининторф», «Шатураторф» и другие, добывали каждое в отдельности более 5 млн т торфа за сезон. Но уже в 2000 г. объем добычи торфа в России составлял 13,6 млн т, а в 2005 г. объемы добычи торфа снизились до 4 млн т [1–3].

В настоящее время Правительство РФ внесло в Госдуму поправки к ФЗ «Об электроэнергетике» о поддержке электростан-

ций на торфе, что должно переломить ситуацию с его использованием.

Однако, как показывает статистика, с каждым годом возрастают масштабы торфяных пожаров, нанося существенный вред здоровью населения за счет выделения опасного канцерогена – бензопирена. Поэтому защита торфа от самовозгорания и предотвращение пожаров торфяников приобретает чрезвычайно важное социальное и экономическое значение и в нашей стране, и за рубежом [2, 4].

Добыче торфа, как правило, предшествует осушение залежи. Поверхность торфяника очищается от растительности и делится каналами на соответствующие участки, понижая тем самым уровень грунтовых вод и влажность торфа [5].

Однако именно при осушении торфа возникает опасность его самовозгорания из-за продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, разогревающих его массу до 70 градусов Цельсия. Возникающие при этом процессы деструкции вызывают дальнейшее повышение температуры, что превращает торф в полукокс, который при наличии кислорода самовоспламеняется. Такой самонагрев и самовоспламенение происходят и при хранении добытого торфа [3, 4].

Несмотря на то, что бесполезность тушения торфяных пожаров водой доказана ещё в конце прошлого века, многие современные патенты в области тушения торфяных пожаров [№ 2087167, № 2194553, № 2277956 и т.д.] «продолжают изобретать» водяные методы и создавать специальные средства для этого, невзирая на то, что заливка водой торфяника делает невозможной его эксплуатацию, то есть добычу и использование торфа [6–8].

Таблица 1

Классификация видов торфа

Тип	Лесной подтип	Лесо-топяной подтип		Топяной подтип		
	Древесная группа	Древесно-травяная	Древесно-моховая	Травяная группа	Мохо-травяная группа	Моховая группа
Низинный	Ольховый, березовый, еловый, сосновый, ивовый	Древесно-тростниковый, древесно-осоковый	Древесно-гипновый, древесно-сфагновый	Хвощовый, тростниковый, осоковый, вахтовый, шейхцериевый	Осоково-гипновый, осоково-сфагновый	Гипновый, сфагновый
Переходной	Древесный	Древесно-осоковый	Древесно-сфагновый	Осоковый, шейхцериевый	Осоково-сфагновый	Гипновый, сфагновый
Верховой	Сосновый	Сосново-пушицевый	Сосново-сфагновый	Пушицевый, шейхцериевый	Пушицево-сфагновый, шейхцериево-сфагновый	Медиум-торф, фускум-торф, комплексный, сфагново-мочажинный

Рис. 1. Классификация торфа по вещественному составу: $D_{\text{ср}}$ – средний размер частиц торфа, B – битумы, L – лигносульфонат, $ГВ$ – гуминовые вещества, $ФК$ – фульвовые кислоты, $D_{\text{ас}}$ (А) – зольность, ПАВ – поверхностно-активные вещества, ПЭ – полиэлектролиты

Известны разные методы тушения пожаров на торфяниках, в том числе безводными способами, один из которых, например, заключается в создании барьера по контуру наиболее пожароопасных участков, до возникновения очагов самовозгорания и во время пожаров. Барьер состоит из смеси измельченных карбоната содержащей (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 кремнеф-

тористого натрия 3%, до 100% к основной смеси. В качестве компонентов такой смеси могут быть использованы магнезит, доломит, известняк, трепел, опока, диатомит. При распространении огня к траншее минеральный материал разлагается с выделением углекислого газа, который снижает содержание кислорода в воздухе. Оксиды магния и кальция начинают взаимодействовать с указанными добавками с образованием устойчивого к высоким температурам пористого барьера, который препятствует распространению огня. Недостатком способа являются, во-первых,

уничтожение торфа пожаром, во-вторых, высокие единовременные и эксплуатационные затраты на его осуществление, а в-третьих, отсутствие возможности осуществлять локацию и предотвращать самовозгорание торфа [7].

Существует способ газовой локации подземных пожаров, который заключается в запуске индикаторного газа в выработанное пространство под контуром пожара, и в определении появления на поверхности запускаемого газа и изменения концентрации пожарных газов. Кроме больших единовременных и эксплуатационных затрат недостатком данного способа является невозможность его использования на торфяниках, которые ещё не эксплуатируются [6–8].

Существуют газовые способы тушения лесов и торфяников: «бомбами» с жидким азотом, «брикетами» с гранулами диоксида углерода и др., но они имеют «поверхностную эффективность», а самовозгорание торфа и развитие пожара происходит в глубине торфяника, куда они попасть не могут [7].

Отечественными учеными и специалистами разработан метод азотирования торфа, который заключается в том, что с помощью установки сепарации воздуха (мембранной или термомагнитной) из окружающей атмосферы отделяется кислород, который возвращается обратно, а азот с помощью газо-торфяных стволов-термозон-

дов (ГТСТЗ) вводится в зону саморазогрева торфа. Эта зона определяется тремя ГТСТЗ, путем тепловой локации «очага саморазогрева», что позволяет предотвратить самовозгорание и обеспечить безопасную добычу и хранение торфа [7, 8].

Однако автоматизированный комплекс (рис. 2), реализующий указанный способ на мотопомпах «Гейзер-1200» или «Гейзер-1600», во-первых, требует буксировки на торфяник, что в условиях бездорожья значительно затрудняет их применение, во-вторых, отсутствие алгоритмов «двухэтажной тепловой локации» вызывает сомнение в точности определения «очага» саморазогрева или пожара, а в-третьих, и это главное – автоматизация ГТСТЗ на радиомодулях снижает надежность функционирования комплекса [5, 7–9].

Методы решения проблемы

В качестве альтернативы изобретению была разработана модель автоматизированной установки, которая устраняет перечисленные недостатки следующим образом:

– во-первых, применением высоко проходимой серийной мобильной азотной станции ТГА 5/10 мощностью в 300 л.с (рис. 3) с производительностью 5 Нм³/мин. и давлением в 10 атм, при чистоте азота в 98–99% с габаритными размерами – 6,0×2,5×3,6 м и массой в 11,5 т [10],

Рис. 2. Структурная схема установки обнаружения, предотвращения и тушения торфяника:

- 1 – мотоконпрессор (1 – двигатель, 2 – компрессор); 3 – сепаратор воздуха; 4 – ресивер;
5 – радиоблок управления (контроллер с радиомодемами и приемопередатчиком ГЛОНАСС);
6 – торфяник; 7 – радиоконтроллер ГТСТЗ с термодатчиками (7.1 и 7.2); 8 – газовый рукав;
9 – радиоканал с ГТСТЗ; 10 – радиоконтроллер ГТСТЗ с термодатчиками (10.1 и 10.2);
11 – газовый рукав; 12 – радиоканал с ГТСТЗ

– во-вторых, учитывая необходимость подключения ГТСТЗ к газовым шлангам (использование стандартных пожарных рукавов), для связи с контроллером и датчиками ГТСТЗ (в отличие от запатентованной схемы) применены контрольные кабели с соответствующими разъемами (рис. 4), что позволило автоматизировать процесс на высокопроизводительном и высоконадежном многофункциональном контроллере TREI-5B-05 [11].

Более того, в этом случае, помимо реализации блок-схемы автоматизации (рис. 4) на одном контроллере с необходимыми модулями (табл. 2), появляется возможность применить методы электроразведки, а именно – метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), который даст возможность не только повысить достоверность обнаружения условий саморазогрева торфа и его очага, но и осуществлять электрическое профилирование торфяника, что позволит по удельному электрическому сопротивлению прогнозировать и пористость, и влагонасыщенность, и глинистость, и некоторые другие свойства [12, 13].

Электроразведочная часть установки ВЭЗ состоит из двух питающих и двух приемных электродов (рис. 5). В качестве электродов обычно применяют металлические штыри, которые забиваются в землю.

Питающие электроды принято обозначать буквами А и В, приемные – М и N [13].

К питающим электродам с помощью проводов подсоединяют источник тока – батарею или специальный генератор. В земле возникает электрическое поле и начинается протекать электрический ток. Силу тока в питающей линии (I_{AB}) измеряют с помощью амперметра, включенного в цепь АВ. На приемных электродах М и N возникает разность электрических потенциалов (U_{MN}), которая измеряется с помощью вольтметра.

По результатам измерений можно судить об электрических свойствах горных пород на глубинах проникновения тока в землю. Глубина «погружения тока» зависит в основном от расстояния между питающими электродами А и В. По результатам выполненных измерений вычисляют кажущееся удельное электрическое сопротивление (ρ_k), обозначаемое в Ом·м [12, 13]:

$$\rho_k = K \cdot \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}},$$

где K – геометрический коэффициент (зависит от взаимного расположения и расстояний между электродами А, В, М и N), ΔU_{MN} – разность потенциалов на приемных электродах М и N, I_{AB} – сила тока, протекающего в питающей линии.

Рис. 3. Азотная станция ТГА – 5/10 Краснодарского компрессорного завода

Рис. 4. Структурная схема автоматизации на МФК TREI-5B-05

Таблица 2

Спецификация контроллера Tray 05

Спецификация			
№	Тип	Наименование	Назначение
1	БП	Блок питания с ~220 В и с выходом = 24 В или DC←→DC преобразователь АКБ автомобиля	Питание модулей контроллера, внешних нагрузок, Touch Panel, GPS приемник
2	GPS	GPS приемник с выходом на RS-232	Принимает координаты шкафа
3	M932C2	Интеллектуальный модуль в составе:	Программируемый контроллер
	Юнит U2AI	2 дифференциальных канала ввода 4..20 мА	Измерение расхода азота в ГТС ТЭЗ 1 и 2
	Юнит U2AI	2 дифференциальных канала ввода 4..20 мА	Измерение расхода азота в ГТС ТЭЗ 3 и 4
	Юнит URS	1 канал последовательного интерфейса RS-232	Получение координат GPS в стандарте IMEA
	Юнит U2DOH	2 канала дискретного вывода с ШИМ-выходом	Выдача импульсов напряжения для электрозондирования между двумя ГТС ТЭЗ
	Юнит UAI	1 канал ввода напряжения низкого уровня	Измерение потенциала между двумя ГТС ТЭЗ
	Юнит U2AI	2 дифференциальных канала ввода 4..20мА	Измерение давления в ресивере
4	W935T	8 каналов ввода температур от термометров сопротивлений по четырехпроводному подключению с мультиплексированием	Измерение температуры в ГТС ТЭЗ 1, 2, 3 и 4
5	Touch Panel	Сенсорная панель Wintek M8000	Управление и визуализация

Рис. 5. Схема измерений в методе ВЭЗ

Для реализации предлагаемого способа термоэлектронзондирования изобретенные газоторфяные стволы легко модернизируются путем установки термопар в два «приемных» ГТС вместо двух «ТСМ-50 верхней части», а в двух «питающих» ГТС демонтируются «ТСМ-50 верхней части» и питающие провода присоединяются к верхней части ствола, который становится «питающим электродом» (рис. 2). При этом тепловая локация очага саморазогрева или пожара осуществляется по данным многократного опроса ТСМ-50, установленных в «нижних частях» всех 4-х ГТС, методом четырехточечной пассивной локации (разностно-дальномерным методом с базово-корреляционной обработкой), которая значительно достовернее метода триангуляции, так как позволяет получить точность определения углов пеленга в несколько угловых минут – результат, недостижимый для триангуляционных систем [14].

Общий алгоритм работы автоматизированного комплекса на базе мобильной ТГА – 5/10 отличается только в части электронзондирования, так как каждый из четырех газоторфяных стволов-термо-электронзондов (ГТС-ТЭЗ) устанавливается на торфянике по одной линии в точном соответствии со схемой электронзондирования (рис. 5).

Заключение

Применение способа и мобильного автоматизированного комплекса на базе ТГА-5/10 для обнаружения, предотвращения и тушения торфяных пожаров, позволяет принципиально по-новому решить проблемы пожарной и экологической безопасности торфяников, а также добычи и хранения торфа [15].

Список литературы

1. Тюремов С.Н. Торфяные месторождения. – М.: Недра, 1976. – 182 с.
2. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты / Л.Б. Хорошавин, О.А. Медведев, В.А. Беляков, Е.В. Михеева, В.С. Руднов, Е.А. Байтмирова. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2013. – 256 с.
3. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
4. Самовозгорание торфа / Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/s/samovozgoranie-torfa> (дата обращения: 04.05.18).
5. Система тушения лесоторфяных пожаров с использованием мотопомпы «ГЕЙЗЕР» и специального торфяного ствола игра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.systempro.ru/tovar/system> (дата обращения: 05.05.2018).
6. Белозеров В.В., Нестеров А.А., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В. Метод и автоматизированный комплекс обнаружения торфяных пожаров.

ружения, предотвращения и тушения торфяных пожаров // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 5 (33). – 15 с. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/> (дата обращения: 05.05.2018).

7. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Кальченко И.Е., Мальцев Г.И., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В., Олейников С.Н. Способ предотвращения или обнаружения и тушения торфяных пожаров и установка для реализации способа // Патент России № 2530397, 10.10.2014, Бюл. № 28.

8. Белозеров В.В., Олейников С.Н., Белозеров В.В. Метод азотирования торфа и средства его противопожарной защиты // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 10. – С. 7–10.

9. Голосной А.А. Автоматизированный комплекс «азотирования» торфа // Материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». URL: <https://www.scienceforum.ru/2017/pdf/30226.pdf> (дата обращения: 05.05.2018).

10. Ворошилов И.В. Передвижная станция компрессорная азотная // Патент на промышленный образец № 102768, 27.03.2017, Бюл. № 3.

11. Устройство программного управления TREI-5B-05 /Руководство по эксплуатации TREI.40072854.501 РЭ (Version 3.4 / 16.04.2013). – Пенза: TREI GmbH, 2013. – 303 с.

12. Хасанов Д.И. Введение в электроразведку: пособие для слушателей курсов повышения квалификации по специальности «Геофизика». – Казань: КГУ, 2009. – 75 с.

13. Марченко М.Н. Вертикальное электрическое зондирование / под ред. проф. Модина И.Н. – М.: МГУ, 2013. – 30 с.

14. Поздняков Е.К. Методы определения координат в многопозиционных пассивных комплексах с использованием избыточной информации: дис ... канд. тех. наук (05.12.17). – Донецк, 2015. – 184 с.

15. Белозеров В.В. Синергетика безопасной жизнедеятельности. – Ростов н/Д.: Изд. ЮФУ, 2015. – 420 с.