

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА И МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОЙ ЭМИССИИ CO₂

Басова Е.А., Ивахнюк С.Г., Королева Л.А., Семенов В.В.

Цель. Исследование теоретических и практических вопросов, посвященных повышенной эмиссии углекислого газа в атмосферу в результате крупных пожаров на объектах экономики, связанных с обращением углеводородных видов топлива, а также разработка и апробация методики по ее снижению.

Методы. Исследовались факты крупных пожаров на инфраструктуре опасных производственных объектов, связанных с обращением органического топлива, ставших источниками значительного поступления в атмосферу одного из мощнейших по негативному воздействию парниковых газов – диоксида углерода. Проводился анализ аварий, произошедших в 2014–2023 гг. в Российской Федерации на объектах трубопроводного транспорта органических видов топлива и резервуарах с нефтью и нефтепродуктами. Предложена и представлена положительными результатами экспериментов по применению инновационная методика снижения углеродного следа от крупных пожаров.

Результаты. Установлено, что большинство аварий на объектах исследования сопряжено с возникновением пожаров, а также взрывов топливно-воздушных смесей, сопровождаемых возгораниями горючих веществ. Показано, что множество различных причин, от имеющих техническую природу до милитаризованных террористических атак на объекты нефтегазового комплекса, разрывают технологические цепочки движения топлива от добычи до потребления, вызывая аварийное горение газа, нефти и нефтепродуктов. Предлагается негативное воздействие от аварийных возгораний органического топлива в части формирования существенного вклада в эмиссию диоксида углерода рассматривать как опасный фактор пожара непрямого отложенного действия. Применение разработанной методики приводит к увеличению общего фотосинтетического потенциала растений и, соответственно, к абсорбции ими диоксида углерода из атмосферы.

Область применения исследований. Исследование процессов протекания аварий, пожаров и взрывов, разработка способов снижения опасных воздействий на окружающую среду, разработка методологических основ и нормативных положений, направленных на обеспечение пожарной безопасности объектов защиты.

Ключевые слова: опасный производственный объект, крупные пожары, пожарная безопасность, опасные факторы пожара, углекислый газ, углеродный след, фотосинтез.

(Поступила в редакцию 10 июля 2024 г.)

Введение

Ежегодно существенное количество выбросов парниковых газов поступает в атмосферу за счет различной антропогенной деятельности и аварий на опасных производственных объектах. Современная мировая наука ставит перед собой амбициозную задачу по значительному снижению их концентрации в атмосфере и минимизации выбросов в результате деятельности человека.

Крупномасштабные пожары являются источниками значительного поступления в атмосферу планеты одного из мощнейших по негативному воздействию парниковых газов – диоксида углерода. По последствиям к ним можно отнести пожары, объектами которых являются лесные насаждения, торфяные залежи, и, несомненно, инфраструктура опасных производственных объектов (далее – ОПО), связанных с обращением органического топлива, например нефти, нефтепродуктов, природного газа и пр.

К ОПО нефтегазового комплекса относят ОПО нефтегазодобывающей, нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности, нефтепродуктообеспечения, подземного хранения газа, магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов и газопроводов, газораспределения и газопотребления¹.

Значительные выбросы антропогенного диоксида углерода в природную среду определяют экологические риски, сопровождающие пожары на буровых установках, нефтеперерабатывающих заводах, резервуарных парках нефтепромыслов, нефтебазах, перекачивающих станциях магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, автомобильных газовых заправках, а также газораспределительных станциях, сетях газораспределения и газопотребления.

Ниже представлена информация о резонансных событиях, произошедших в Российской Федерации и за рубежом, сопровождавшихся крупномасштабными пожарами:

– пожар на скважине в Индии, произошедший в 1960-х гг., значительно осложнившийся тем, что дебит газа, по оценкам специалистов, достигал 30 млн м³/сут. Пожар продолжался в течение нескольких лет, пока не завершился в связи с истощением месторождения [1];

– кратер с горящим природным газом в Каракумах Туркменистана диаметром приблизительно 60 м и глубиной около 20 м. С 1971 г., когда буровая вышка со всем оборудованием обрушилась в подземную каверну, и до настоящего времени природный газ, выходящий из кратера, непрерывно горит днем и ночью²;

– события 1991 г. в Персидском заливе, когда, уходя из Кувейта, военнослужащие Ирака подожгли около 600 нефтяных скважин, пожары которых продолжались почти год³ [2];

– авария в западной части Москвы в мае 2009 г. – факельное горение струи газа (метана) из разрушенного газопровода. Пожар продолжался почти 16 ч, пока газ полностью не выгорел. Высота факела пламени составляла 25–30 м [1];

– пожар в Мексиканском заливе, который был вызван взрывом в 2010 г. на полупогружной нефтяной платформе Deepwater Horizon. Пожарные суда пытались ликвидировать пожар, но безуспешно, столб дыма достигал высоты 3 км. Тушение было завершено только через 36 ч вследствие того, что нефтяная платформа затонула⁴.

Перечисленные примеры подчеркивают актуальность исследований, проводимых в области разработки современных подходов к снижению в атмосфере концентрации углекислого газа, образующегося при пожарах на объектах нефтегазового комплекса.

Основная часть

Анализ пожаров при обращении органического топлива. Авторами проведен анализ аварий, произошедших в 2014–2023 гг. в Российской Федерации на ОПО, связанных с обращением органического топлива. На рисунке 1 представлены сведения об авариях на нефте-, нефтепродукто- и газопроводах в рассматриваемой ретроспективе с указанием их количества и распределением по годам [3].

¹ О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: Федеральный закон, 21 июля 1997, № 116-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия / ЗАО «КонсультантПлюс». – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/. – Дата доступа: 05.07.2024.

² Писаренко, Д. Что за кратер «Врата ада» хотят потушить в Туркменистане? [Электронный ресурс] / Д. Писаренко // Аргументы и факты. – 2022. – 10 янв. – Режим доступа: https://aif.ru/society/nature/chto_zh_krater_vrata_ada_hotyat_potushit_v_turkmenistane. – Дата доступа: 05.07.2024.

³ «Отступление Хусейна и 600 подожженных нефтяных скважин»: одна из крупнейших техногенных катастроф [Электронный ресурс] // Дзен. – 2024. – 2 июля. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/ZoQUD2HmNwKyTQQ0>. – Дата доступа: 05.07.2024.

⁴ Звонова, О. Авария в Мексиканском заливе: хроника событий и экологические последствия [Электронный ресурс] / О. Звонова // Аргументы и факты. – 2014. – 22 апр. – Режим доступа: https://aif.ru/dontknows/file/avariya_v_meksikanskom_zalive_hronika_sobytyiy_i_ekologicheskie_posledstviya. – Дата доступа: 05.07.2024.

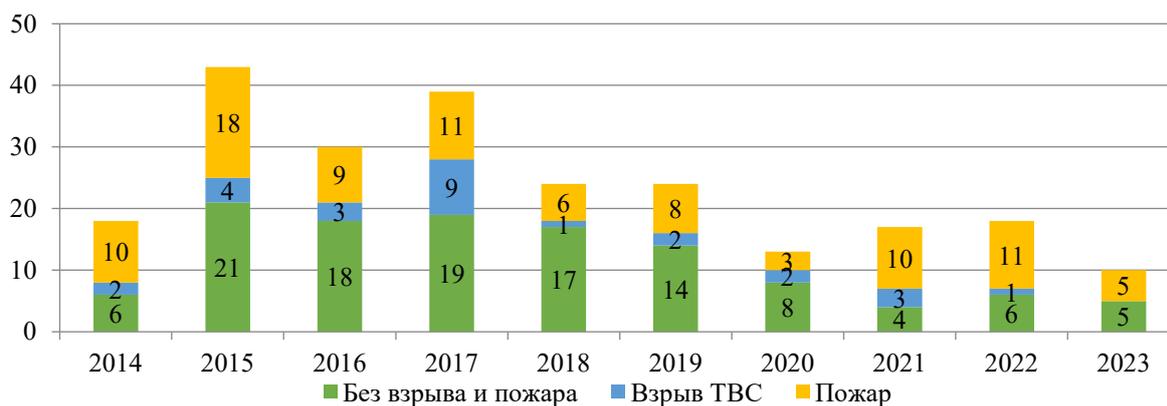


Рисунок 1. – Распределение аварий на объектах трубопроводного транспорта органического топлива по годам

В среднем на трубопроводных системах ОПО происходит от 10 до 40 аварий в год. Часть из них характеризуется аварийной разгерметизацией, сопровождаемой разливом жидких нефтяных углеводородов или выбросом газообразных веществ без последующего их воспламенения. В остальных случаях происходит либо пожар, либо взрыв топливно-воздушной смеси (ТВС), которая образована газом или парами жидких нефтяных углеводородов (горючим компонентом) и кислородом воздуха (окислителем).

Обобщенные за 10 лет данные показывают, что аварии на трубопроводных системах ОПО сопровождаются пожарами в 39 % и взрывами ТВС в 11 % случаев (рис. 2).

В результате исследований аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами ОПО Российской Федерации открывается несколько другая статистическая картина. Результаты анализа их последствий за период с 2014 по 2023 г. представлены на рисунке 3.



Рисунок 2. – Распределение аварий на объектах трубопроводного транспорта по последствиям

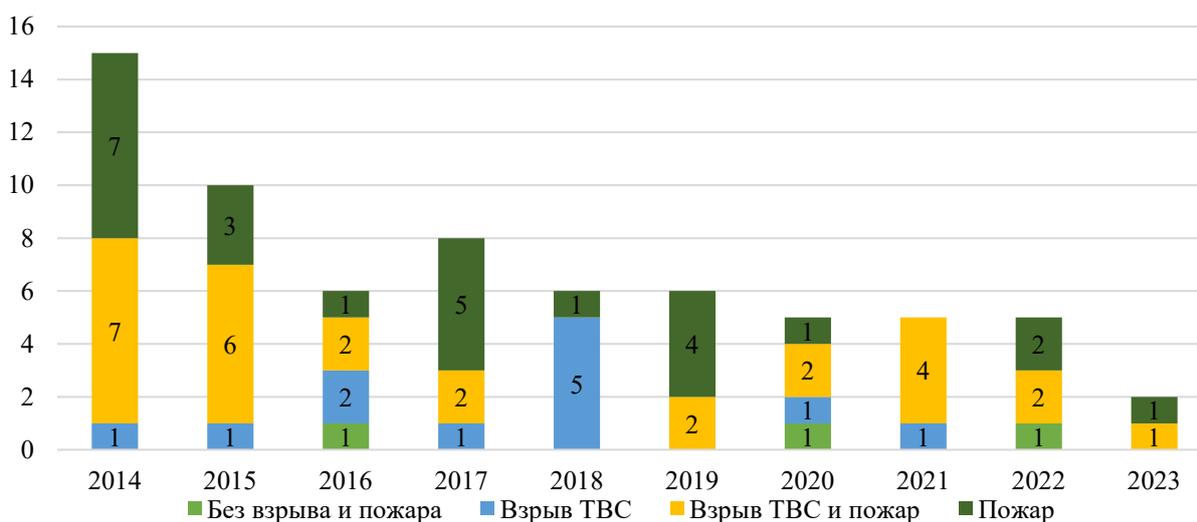


Рисунок 3. – Распределение аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами по годам

Аварии на резервуарах и технологических аппаратах характеризуются значительным количеством сопровождающих их взрывов и пожаров. Это, наиболее вероятно, связано с тем, что выход и образование взрыво- и пожароопасных сред происходит не на открытом пространстве, как в большинстве случаев аварийной разгерметизации магистральных и межпромысловых трубопроводов, а в замкнутом объеме самого объекта, подвергшегося аварии.

Таким образом, пожары на подобных объектах, являющиеся в большинстве случаев последствиями их аварийных разгерметизаций, происходят в 78 % случаев: в 37 % – только пожар, в 41 % – пожар и взрыв ТВС (рис. 4).

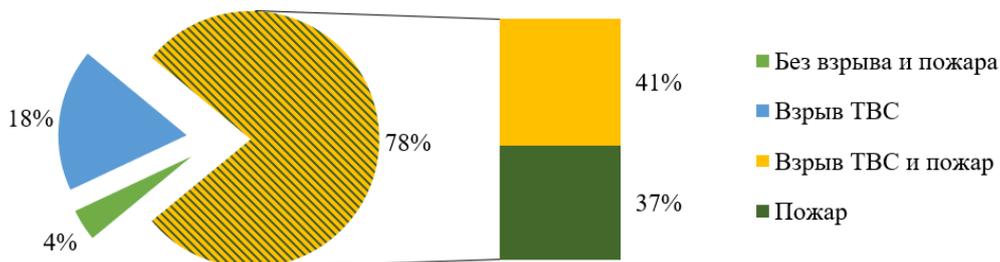


Рисунок 4. – Распределение аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами по последствиям

Основная доля промышленной эмиссии углекислого газа (97–99 %) связана со сжиганием различных видов органического топлива [4]. Отдельные авторы исследований по оценке объемов эмиссии парниковых газов предлагают учитывать выбросы по всей технологической цепочке движения топлива от добычи до потребления. В настоящее время множество различных причин, от имеющих техническую природу до милитаризованных террористических атак на объекты нефтегазового комплекса, разрывают описанные технологические цепочки, вызывая аварийное горение газа, нефти и нефтепродуктов.

Негативное воздействие горения органических видов топлива в части формирования существенного вклада в образование диоксида углерода следует рассматривать как опасный фактор пожара непрямого отложенного действия и учитывать как важный источник поступления углекислого газа в атмосферу.

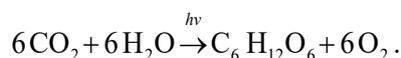
Методология. Пути снижения ущерба, наносимого природной среде при пожарах на ОПО, усматриваются в следующих основных направлениях:

- снижение поступления диоксида углерода путем предупреждения пожаров, а также совершенствование способов их локализации и ликвидации;
- усиление связывания уже имеющегося углекислого газа абсорбцией из атмосферы за счет природного процесса – фотосинтеза.

Лесные экосистемы, включающиеся в процессы фотосинтеза, занимают треть суши нашей планеты. В численном выражении занимаемая ими площадь составляет 38 млн км². На сегодняшний момент человечество полностью уничтожило около 50 % территории лесов, которые ранее существовали на планете. Данные территории заняты антропогенными ландшафтами: пастбищами, пустошами, посевами, поселениями и другими. По оценкам ООН⁵, вследствие деятельности человека ежегодно исчезает 10 млн га лесонасаждений, которые могли бы усваивать углекислый газ и минимизировать тем самым влияние парникового эффекта.

Мерами по снижению ущерба лесным насаждениям можно считать предупреждение лесных пожаров, развитие лесоразведения, а также снижение вырубки лесов. В настоящее время снижение экспорта древесины естественным образом сказалось на уменьшении объемов вырубки леса. Восстановление лесов является одним из методов карбонового земледелия – важного компонента климатически ориентированного сельского хозяйства, направленного на поглощение атмосферного углерода в почве, корнях сельскохозяйственных культур, древесине, а также листьях за счет фотосинтеза.

Брутто-формула химических реакций фотосинтеза имеет следующий вид:



⁵ Медведев, Ю. Почему леса становятся угрозой для климата [Электронный ресурс] / Ю. Медведев // Наука – специальный проект «Российской газеты». – Режим доступа: <https://rg.ru/2023/09/26/teplovoj-shok.html>. – Дата доступа: 23.05.2024.

Механизм фотосинтеза состоит из системы сложных реакций, главную роль в которых играет углекислый газ, свет и вода. В его процессе растения поглощают углекислый газ и выделяют в атмосферу кислород.

Важным показателем является фотосинтетический потенциал растений, отражающий динамику нарастания и функционирования листовой массы, активизирующей фотосинтетическую активность за вегетационный период.

В настоящее время существует острая необходимость для проведения исследований по интенсификации связывания углекислого газа фотосинтезом. Применение различных электрофизических методов воздействия доказало свою эффективность в вопросах положительного влияния на показатели развития растений [5–7]. Результаты ранее проведенных исследований по изучению биометрических и морфофизиологических показателей растений при выращивании с использованием специально подготовленной поливной воды [8–10], подтвердили ускорение их роста, увеличение содержания хлорофилла и продуктивности фотосинтеза.

На базе Санкт-Петербургского технологического института (технического университета) и Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России впервые проведены исследования влияния полива обработанной с применением генератора переменного частотно-модулированного потенциала (далее – ПЧМП) водой на особенности вегетации сельскохозяйственной культуры – овса.

Генератор ПЧМП имеет средства физического воздействия на материал (воду), представляющие собой элементы косвенного или прямого приложения к нему электрического потенциала. В качестве электродов используются медные пластины, дающие возможность подачи электрического потенциала непосредственно на воду или на емкость, в которой она находится [11].

Характеристики генератора ПЧМП следующие: питающее напряжение 220 В, несущая частота 50 Гц, мощность 200 Вт, диапазон изменения частоты от 10 до 1000 Гц. Частотная модуляция генератора ПЧМП описывается по специальной математической зависимости в виде синусоиды.

При электрофизическом воздействии на воду с помощью генератора ПЧМП вследствие трансформации надмолекулярной архитектуры существенно изменяются ее базовые физико-химические свойства: динамическая вязкость, осмотическое давление, поверхностное натяжение, плотность, водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и др. (рис. 5) [8–10]. Изменения перечисленных показателей направлены в сторону увеличения биологической активности воды.

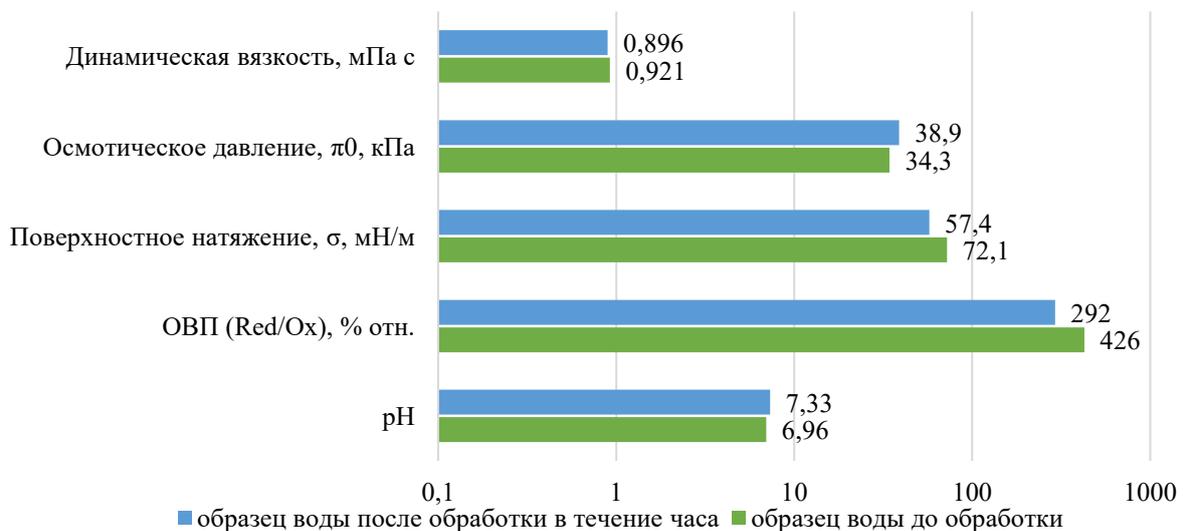


Рисунок 5. – Изменения физико-химических свойств воды до и после ее обработки электрофизическим воздействием

Управление физико-химическими свойствами поливной воды может применяться в целях увеличения поглощения техногенного углекислого газа флорой при фотосинтезе, а также для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и восстановления лесных экосистем.

При проведении экспериментов по проращиванию, которое осуществлялось в чашках Петри при комнатной температуре (25 ± 2) °С, были использованы семена овса. В чашки были высажены по 15 семян, которые предварительно отбирались из общего числа с целью исключения некачественных зерен.

Полив семян осуществлялся в первой серии образцов – исходной дистиллированной водой, во второй – обработанной дистиллированной водой. Обработку воды с помощью генератора ПЧМП проводили помещением электрода из меди в содержащую ее колбу на 30 мин.

Измерение всхожести семян сельскохозяйственных культур проводилось по ГОСТ 12038-84. Замеры длин ростков и корней проросших семян проводили ежедневно линейкой. На десятый день после начала визуального наблюдения проросшие ростки высаживали в землю (длина корней после пересадки не измерялась).

Результаты. Полученные результаты опытов по исследованию воздействия поливной воды, обработанной с помощью генератора ПЧМП, на всхожесть и вегетацию овса представлены на рисунке 6.

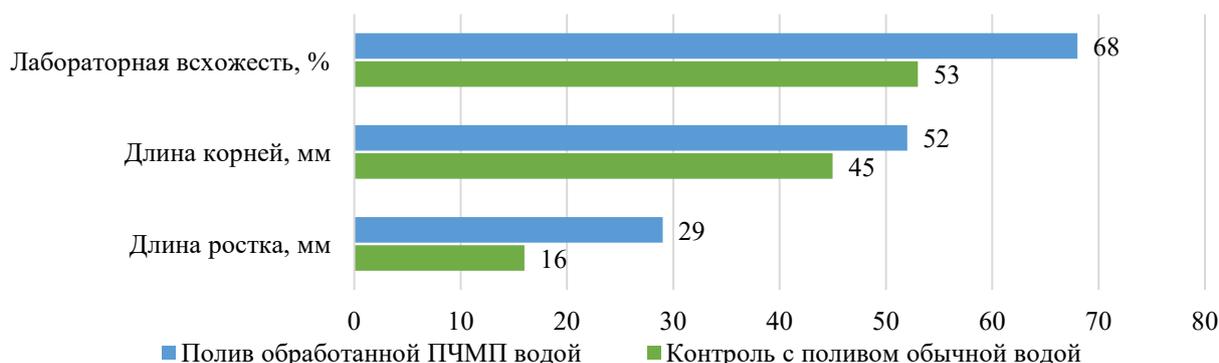


Рисунок 6. – Влияние поливной воды на всхожесть и морфометрические параметры проростков овса

Зафиксировано изменение в сторону увеличения всех трех исследуемых показателей: лабораторной всхожести семян овса, длины корней и ростков растений. Изменение морфометрических параметров проростков овса визуализировано на рисунках 7, 8.



Рисунок 7. – Проросший овес с использованием для полива обработанной ПЧМП (слева) и не обработанной ПЧМП (справа) воды



Рисунок 8. – Овес, выращенный с использованием для полива обработанной ПЧМП (сверху) и не обработанной ПЧМП (снизу) воды

Обсуждение. Анализ полученных данных показал, что в отношении выбранных объектов исследования:

- всхожесть увеличилась на 15 %;
- длина корней увеличилась на 7 мм (на 15,6 %);
- длина ростка увеличилась на 13 мм на (81,3 %).

Рост корневой системы оказывает влияние на порозность почв, в результате чего улучшается снабжение корней воздухом и влагой. За счет увеличения воздействием ПЧМП растворяющей способности обработанной воды и ее взаимодействия с водорастворимыми карбонатами магния и кальция почвы – в зоне корневой системы происходит концентрирование гидрокарбоната иона HCO_3^- и насыщение растений минеральными веществами. Перечисленные физические и химические эффекты являются дополнительными положительными результатами обработки поливной воды электрофизическим воздействием.

Результаты проведенного исследования показывают, что применение ПЧМП в отношении поливной воды значительно изменяет в положительную сторону показатель всхожести семян овса и морфологические признаки растений, таким образом оказывая позитивное влияние на процессы фотосинтеза у сельскохозяйственных растений и, соответственно, на увеличение количества абсорбированного техногенного диоксида углерода из атмосферы.

Сравнение полученных результатов с результатами в других исследованиях. В настоящее время наиболее перспективными в части усиления усваивания CO_2 растениями считаются возможности селекции и генной инженерии, а также потенциал применения разнообразных наноматериалов [12–19]. Тем не менее эти подходы и по сей день сталкиваются с целым рядом проблем, обусловливаемых в первую очередь спецификой их реализации. Некоторые из предлагаемых способов находятся на столь ранней стадии разработки, что вопросы их практического применения откладываются на достаточно значительные сроки.

С учетом вышеизложенного предложенную методику снижения углеродного следа от крупных пожаров, отличающуюся простотой и дешевизной применения, можно рассматривать в качестве приоритетной для рассматриваемых целей и задач.

Заключение

Выявлены особенности протекания аварий, пожаров и взрывов на инфраструктуре объектов нефтегазового комплекса. Сфокусировано внимание на негативном воздействии крупных пожаров в части залповой эмиссии диоксида углерода. Предложено обособить опасные факторы пожара непрямого отложенного действия и отнести к ним аварийную эмиссию CO₂. Разработана и апробирована методика снижения ее опасных последствий, основанная на одном из эффективных путей решения вопросов декарбонизации – вегетации и возделывания культур с использованием методов карбонового земледелия.

Проведенными в работе исследованиями установлено, что полив водой, модифицированной переменным частотно-модулированным потенциалом, положительно воздействует на всхожесть (увеличилась на 15 %) и жизнеспособность проросших семян, а также на развитие зеленой массы овса (длина корней увеличилась на 7 мм или на 15,6 %, длина ростка – на 13 мм или на 81,3 %). Это приводит к увеличению общего фотосинтетического потенциала растений и абсорбции ими диоксида углерода из атмосферы.

Полученные результаты показывают необходимость комплексного подхода к оценке и минимизации негативного воздействия от пожаров на объектах с обращением органических видов топлива, а также открывают широкие перспективы по возможностям снижения их отдельных опасных последствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурагимов, И.М. Пожар газового фонтана на улице Озерной / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 2. – С. 46–53. – EDN: PAELBX.
2. Ивахнюк, С.Г. Каскадность взаимных возникновения и развития чрезвычайных ситуаций – результат научно-технического прогресса / С.Г. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 1 (61). – С. 67–77. – EDN: YQSTAM.
3. Уроки, извлеченные из аварий [Электронный ресурс] // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). – Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons>. – Дата доступа: 23.05.2024.
4. Бубнов, В.П. Экологическая оценка воздействия вредных выбросов (сбросов) при сжигании органического и ядерного топлива на окружающую среду / В.П. Бубнов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2010. – № 4. – С. 70–73. – EDN: ZHJMOR.
5. Комиссаров, Г.Г. Фотосинтез: физико-химический подход / Г.Г. Комиссаров. – М.: Ленанд, 2022. – 224 с.
6. Кокиева, Г.Е. Совершенствование технологии выращивания зеленых культур на рассадно-салатных комплексах зимних теплиц / Г.Е. Кокиева // Столыпинский вестник. – 2022. – Т. 4, № 4. – Статья 59. – EDN: SIZSXE.
7. Ибраимов, Т.К. Влияние активированной электрическим полем воды на показатели развития растений / Т.К. Ибраимов [и др.] // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 5. – С. 67–72. – DOI: 10.33619/2414-2948/78/07. – EDN: FOSOGO.
8. Май, Ч.Б. Влияние переменного электрического поля на физико-химические свойства воды в реакции фотосинтеза: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Ч.Б. Май; Санкт-Петербургский государственный технологический институт. – СПб., 2018. – 21 с.
9. Басова, Е.А. Научные инновации по обеспечению развития отечественного сельскохозяйственного производства / Е.А. Басова, С.Г. Ивахнюк // Импортзамещение, научно-техническая и экономическая безопасность: сб. статей V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения», Минск, 7–9 декабря 2022 г.; в 3 т. – Минск: БГТУ, 2022. – Т. 3. – С. 120–126. – EDN: XZSOID.
10. Ивахнюк, С.Г. Научно-технические инновации по снижению концентрации техногенного CO₂ в атмосфере за счет повышения его абсорбции / Ивахнюк С.Г., Королева Л.А. // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 2 (62). – С. 69–79. – EDN: ZNMBWG.
11. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. RU 2479005C2 / Г.К. Ивахнюк, В.Н. Матюхин, В.А. Клачков, А.О. Шевченко [и др.]. – Оpubл. 10.04.2013.

12. Krishnan, A. Emerging towards zero carbon footprint via carbon dioxide capturing and sequestration / A. Krishnan, A. Nighojkar, B. Kandasubramanian // *Carbon Capture Science & Technology*. – 2023. – Vol. 9. – Article 100137. – DOI: 10.1016/j.ccst.2023.100137.
13. Onyeaka, H. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture / H. Onyeaka, T. Miri, K. Obileke [et al.] // *Carbon Capture Science & Technology*. – 2021. – Vol. 1. – Article 100007. – DOI: 10.1016/j.ccst.2021.100007.
14. Pessarrodona, A. Carbon removal and climate change mitigation by seaweed farming: A state of knowledge review / A. Pessarrodona, J. Howard, E. Pidgeon, T. Wernberg, K. Filbee-Dexter // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 918. – Article 170525. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170525.
15. Singh, S. Carbon farming: a circular framework to augment CO₂ sinks and to combat climate change / S. Singh, B.R. Kiran, S.V. Mohan // *Environmental Science: Advances*. – 2024. – Vol. 3. – P. 522–542. – DOI: 10.1039/d3va00296a.
16. Bose, A. Carbon capture by photosynthesis of plants / A. Bose, R. O’Shea, S. De, J.D. Murphy // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. – 2023. – DOI: 10.1016/B978-0-323-93940-9.00052-9.
17. Yoshida, H. Light and carbon limited photosynthesis of *Chlorella sorokiniana* / H. Yoshida, S. van Oossanen, M.J. Barbosa, M. Janssen // *Algal Research*. – 2023. – Vol. 69. – Article 102934. – DOI: 10.1016/j.algal.2022.102934.
18. Li, S. How to enhance carbon capture by evolution of microalgal photosynthesis? / S. Li, X. Li, S.-H. Ho // *Separation and Purification Technology*. – 2022. – Vol. 291. – Article 120951. – DOI: 10.1016/j.seppur.2022.120951.
19. Xie, Y. Advancement of renewable energy technologies via artificial and microalgae photosynthesis / Y. Xie, K.S. Khoo, K.W. Chew [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2022. – Vol. 363. – Article 127830. – DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127830.

**Особенности протекания крупных пожаров на объектах нефтегазового комплекса
и методика снижения аварийной эмиссии CO₂**

**Particularities of the occurrence of large fires at oil and gas facilities and methods
of reducing emergency CO₂ emissions**

Басова Екатерина Андреевна

Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический
университет), кафедра инженерной защиты
окружающей среды, аспирант

Адрес: Московский пр-т, 24-26/49 литера А,
190013, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: basovakatya09@bk.ru

SPIN-код: 8918-5999

Ekaterina A. Basova

St. Petersburg State Institute of Technology
(Technical University),
Chair of Environmental Engineering,
postgraduate student

Address: Moskovskiy ave., 24-26/49 letter A,
190013, Russia, St. Petersburg

Email: basovakatya09@bk.ru

ORCID: 0009-0001-5096-6562

Ивахнюк Сергей Григорьевич

кандидат технических наук

Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, Научно-исследовательский
институт перспективных исследований
и инновационных технологий в области
безопасности жизнедеятельности,
заместитель начальника института

Адрес: Московский пр-т, 149,
196105, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: sgi78@mail.ru

SPIN-код: 2144-4276

Sergey G. Ivakhnyuk

PhD in Technical Sciences

Saint-Petersburg State Fire Service University
of EMERCOM of Russia,
Research Institute for Advanced Research
and Innovative Technologies in Life Safety,
Deputy Head of the Institute

Address: Moskovskiy ave., 149,
196105, Russia, St. Petersburg

Email: sgi78@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4651-8211

ScopusID: 57442237000

Королева Людмила Анатольевна

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России; кафедра пожарной,
аварийно-спасательной техники
и автомобильного хозяйства; профессор

Адрес: Московский пр-т, 149,
196105, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: lyudamil@mail.ru

SPIN-код: 6101-9772

Lyudmila A. Koroleva

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Saint-Petersburg State Fire Service University
of EMERCOM of Russia; Chair of Fire,
Emergency Rescue Equipment
and Automotive Industry; Professor

Address: Moskovskiy ave., 149,
196105, Russia, St. Petersburg

Email: lyudamil@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5661-5774

ScopusID: 57395471000

Семенов Владимир Всеволодович

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический
университет), кафедра инженерной защиты
окружающей среды, заместитель
заведующего кафедрой

Адрес: Московский пр-т, 24-26/49 литера А,
190013, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: semenovv50@yandex.ru

SPIN-код: 4181-4737

Vladimir V. Semenov

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
St. Petersburg State Institute of Technology
(Technical University),
Chair of Environmental Engineering,
Deputy Head of the Chair

Address: Moskovskiy ave., 24-26/49 letter A,
190013, Russia, St. Petersburg

Email: semenovv50@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1545-7607

PARTICULARITIES OF THE OCCURRENCE OF LARGE FIRES AT OIL AND GAS FACILITIES AND METHODS OF REDUCING EMERGENCY CO₂ EMISSIONS

Basova E.A., Ivakhnyuk S.G., Koroleva L.A., Semenov V.V.

Purpose. Research of theoretical and practical issues concerning the increased emission of carbon dioxide into the atmosphere as a result of large fires at economic facilities related to the handling of hydrocarbon fuels, as well as the development and testing of methods to reduce it.

Methods. The facts of large fires at the infrastructure of hazardous production facilities related to the handling of organic fuels, which became sources of significant atmospheric emissions of carbon dioxide, one of the most powerful greenhouse gases in terms of negative impact, were analyzed. The analysis of accidents that occurred in 2014-2023 in the Russian Federation at the facilities of pipeline transportation of organic fuels and tanks with oil and petroleum products was carried out. An innovative methodology for reducing the carbon footprint from large fires was proposed and presented with positive results of application experiments.

Findings. It has been established that the majority of accidents at the research facilities are associated with the occurrence of fires, as well as explosions of fuel-air mixtures accompanied by ignitions of combustibles. It is shown that many different causes, from those of technical nature to militarized terrorist attacks on oil and gas complex facilities, «break» the technological chains of fuel movement from production to consumption, causing accidental burning of gas, oil and oil products. It is proposed to consider the negative impact from emergency fires of organic fuels in terms of formation of a significant contribution to the emission of carbon dioxide as a dangerous factor of indirect delayed action fire. Application of the developed methodology leads to an increase in the total photosynthetic potential of plants and, accordingly, their absorption of carbon dioxide from the atmosphere.

Application field of research. Investigation of the processes of accidents, fires and explosions, development of ways to reduce hazardous effects on the environment, development of methodological foundations and regulations aimed at ensuring fire safety of defense objects.

Keywords: hazardous production facility, large fires, fire safety, dangerous factors of fire, carbon dioxide, carbon footprint, photosynthesis.

(The date of submitting: July 10, 2024)

REFERENCES

1. Abduragimov I.M. Pozhar gazovogo fontana na ulitse Ozernoy [Gas fountain fire on Ozernaya Street]. *Fire and Explosion Safety*, 2012. Vol. 21, No. 2. Pp. 46–53. (rus). EDN: PAELBX.
2. Ivakhnyuk S.G. Kaskadnost' vzaimnykh vozniknoveniya i razvitiya chrezvychaynykh situatsiy – rezul'tat nauchno-tekhnicheskogo progressa [Cascading mutual occurrence and development of emergency situations – the result of scientific and technological progress]. *Problems of risk management in the technosphere*, 2022. No. 1 (61). Pp. 67–77. (rus). EDN: YQSTAM.
3. *Uroki, izvlechennye iz avariyy* [Lessons learned from accidents]. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor). Available at: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons> (accessed: May 23, 2024). (rus)
4. Bubnov V.P. Ekologicheskaya otsenka vozdeystviya vrednykh vybrosov (sbrosov) pri szhiganii organicheskogo i yadernogo topliva na okruzhayushchuyu sredu [Ecological assessment of emissions (discharges) effect on environment at burning organic and nuclear fuels]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2010. No. 4. Pp. 70–73. (rus). EDN: ZHJMOR.
5. Komissarov G.G. *Fotosintez: fiziko-khimicheskiiy podkhod* [Photosynthesis: a physico-chemical approach]. Moscow: Lenand, 2022. 224 p. (rus)
6. Kokieva G.E. Sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchivaniya zelenykh kul'tur na rassadno-salatnykh kompleksakh zimnikh teplits [Improving the technology of growing green crops for the seedling and salad complex of winter greenhouses]. *Stolypinskiy vestnik*, 2022. Vol. 4, No. 4. Article 59. (rus). EDN: SIZSXE.
7. Ibraimov T.K., Mamatov E.U., Asanova E., Tashpolotov Y.T., Sadykov E. Vliyanie aktivirovannoy elektricheskim polem vody na pokazateli razvitiya rasteniy [Effect of water activated by electric field on plants development indicators]. *Bulletin of Science and Practice*, 2022. Vol. 8, No. 5. Pp. 67–72. (rus). DOI: 10.33619/2414-2948/78/07. EDN: FOSOGO.

8. May Ch.B. *Vliyanie peremennogo elektricheskogo polya na fiziko-khimicheskie svoystva vody v reaktsii fotosinteza* [The influence of an alternating electric field on the physico-chemical properties of water in the photosynthesis reaction]. PhD chem. sci. diss. Synopsis: 02.00.04. St. Petersburg State Institute of Technology. Saint-Petersburg, 2018. 21 p. (rus)
9. Basova E.A., Ivakhnyuk S.G. Nauchnye innovatsii po obespecheniyu razvitiya otechestvennogo sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Scientific innovations to ensure the development of national agricultural production]. *Import substitution, scientific, technical and economic security: proc. of V Intern. scientific-technical conf. «Minsk Scientific readings», Minsk, December 7–9, 2022*; in 3 volumes. Minsk: Belarusian State Technological University, 2022. Vol. 3. Pp. 120–126. (rus). EDN: XZSOID.
10. Ivakhnyuk S.G., Koroleva L.A. Nauchno-tehnicheskie innovatsii po snizheniyu kontsentratsii tekhnogenogo CO₂ v atmosfere za schet povysheniya ego absorptsii [Scientific and technical innovations to reduce the concentration of technogenic CO₂ in the atmosphere by increasing its absorption]. *Problems of risk management in the technosphere*, 2022. No. 2 (62). Pp. 69–79. EDN: ZNMBWG.
11. Ivakhnyuk G.K., Matyukhin V.N., Klachkov V.A., Shevchenko A.O., Knyazev A.S., Ivakhnyuk K.G., Ivanov A.V., Rodionov V.A. *Sposob i ustroystvo upravleniya fiziko-khimicheskimi protsessami v veshchestve i na granitse razdela faz* [Method and device for controlling physico-chemical processes in matter and at the interface of phases]: patent RU 2479005C2. Published April 10, 2013.
12. Krishnan A., Nighoykar A., Kandasubramanian B. Emerging towards zero carbon footprint via carbon dioxide capturing and sequestration. *Carbon Capture Science & Technology*, 2023. Vol. 9. Article 100137. DOI: 10.1016/j.ccst.2023.100137.
13. Onyeaka H., Miri T., Obileke K., Hart A., Anumudu C., Al-Sharify Z.T. Carbon footprint minimization using microalgae as a biological means of capture. *Carbon Capture Science & Technology*, 2021. Vol. 1. Article 100007. DOI: 10.1016/j.ccst.2021.100007.
14. Pessarrodona A., Howard J., Pidgeon E., Wernberg T., Filbee-Dexter K. Carbon removal and climate change mitigation by seaweed farming: A state of knowledge review. *Science of the Total Environment*, 2024. Vol. 918. Article 170525. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170525.
15. Singh S., Kiran B.R., Mohan S.V. Carbon farming: a circular framework to augment CO₂ sinks and to combat climate change. *Environmental Science: Advances*, 2024. Vol. 3. Pp. 522–542. DOI: 10.1039/d3va00296a.
16. Bose A., O'Shea R., De S., Murphy J.D. Carbon capture by photosynthesis of plants. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2023. DOI: 10.1016/B978-0-323-93940-9.00052-9.
17. Yoshida H., van Oossanen S., Barbosa M.J., Janssen M. Photosynthesis of chlorella sorokiniana, limited by light and carbon. *Algal Research*, 2023. Volume 69. Vol. 69. – Article 102934. – DOI: 10.1016/j.algal.2022.102934.
18. Li S., Li X., Ho S.-H. How to enhance carbon capture by evolution of microalgal photosynthesis? *Separation and Purification Technology*, 2022. Vol. 291. Article 120951. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.120951.
19. Xie Y., Khoo K.S., Chew K.W., Devadas V.V., Phang S.J., Lim H.R., Rajendran S., Show P.L. Advancement of renewable energy technologies via artificial and microalgae photosynthesis. *Bioresour. Technology*, 2022. Vol. 363. Article 127830. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127830.