

4. Расчет необходимого времени эвакуации людей из помещений при пожаре: рекомендации. М.: ВНИИПО, 1989.
5. Выявление и обоснование наиболее целесообразных форм и методов организации эвакуации и оповещения на социальном объекте / Скорюпина К.С., Сечин А.И., Долдин И.Н., Киржаков И.Ф. Ж. Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2015. № 2 (25). С. 77-82.

ПОСТРОЕНИЕ ВАРИОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГА ЗАЖИГАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕШЛАМОГО АМБАРА

*М.И. Евдокимова, магистрант ТПУ, Е.И. Чалдаева, аспирант ТПУ, А.И. Сечин, д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, г. Томск
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822) 606-485
E-mail: miv1@tpu.ru*

Аннотация: На основании вариологической модели возникновения очага загорания нефтешлама в амбаре, рассмотрены параметры и критерии самовозгорания, получены данные, показывающие, что в период максимальной солнечной инсоляции и отсутствия параметров, влияющих на нагревание, вероятность самовозгорания достигает $3,2 \times 10^{-3}$, что является средним показателем и характеризуется «возможным» событием за период эксплуатации амбара. Предложена структурно-методологическая схема анализа самовозгорания нефтешламового амбара, учитывающего геофизические параметры нефтешламового амбара и климатические характеристики территории расположения.

Abstract: Based on the variational model of the emergence of a source of ignition of oil sludge in the barn, the parameters and criteria for spontaneous combustion are considered, and data are obtained showing that in the period of maximum solar insolation and the absence of parameters influencing heating, the probability of spontaneous combustion reaches 3.2×10^{-3} , which is the average indicator and is characterized by a "possible" event during the operation of the barn. A structural-methodological scheme for the analysis of spontaneous combustion of an oil sludge barn, taking into account the geophysical parameters of the oil sludge barn and the climatic characteristics of the location territory, is proposed.

Анализ литературы [1–7] показал, что наличие и функционирование нефтешламовых амбаров представляют серьезную угрозу окружающей среде на территории расположения.

Наибольшая составляющая величины риска функционирования нефтешламового амбара – это загрязнение окружающей среды продуктами горения в случае загорания, разрушение обваловки и нарушения гидроизоляции.

Малоизученным является вопрос возникновения очага воспламенения нефтешлама при хранении в амбаре, безопасность его функционирования, недостаточно рассмотрены расчеты рисков и причины возгорания. Это и стало целью настоящей работы: построение вариологической модели возникновения очага загорания на территории нефтешламового амбара.

Технологическим процессом при эксплуатации нефтешламового амбара является хранение, а так же слив, налив отходов нефтепромышленности, содержащих нефть, вещества отработанных растворов и донные отложения резервуаров хранения нефти.

Согласно анализу обзора литературы, чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при эксплуатации НША – это загрязнения вредными токсичными продуктами почвенного покрова и водного горизонта. В амбаре производится гидроизоляция стенок и дна, поэтому попадание нефтепродуктов возможно при:

- нарушении гидроизоляции, обрыве полиэтиленовой пленки, некачественном монтаже и спайке швов;
- переливе амбара путем переполнения отходами, сточными водами, атмосферными осадками;
- размыве обваловки амбара талыми водами в весенне-летний паводковый период;
- попадании амбара в зону наводнения.

Также, согласно исследованиям литературы было выявлено, что нефтешлам, в особенности верхний слой, является горючим. Существует вероятность возникновения пожара и выход его за пределы очага.

Построение вариологической модели возникновения очага загорания

Модель строим, основываясь на методе графического логического описания возникновения негативного события отражающего динамику возникновения загорания амбара.

За вершину дерева было взято возгорание нефтешлама в амбаре, рассматривались два фактора возникновения загорания, от открытого пламени (источника) и самовозгорание. Вариологическая модель возникновения очага загорания показана на рисунке 1.

Вероятности (частоты) возникновения событий, влекущих в совокупности за собой возгорание нефтешлама в амбаре, представлены в таблице 1. По причине отсутствия статистических данных для некоторых событий, использовался широко распространенный в научной практике метод экспертных оценок.

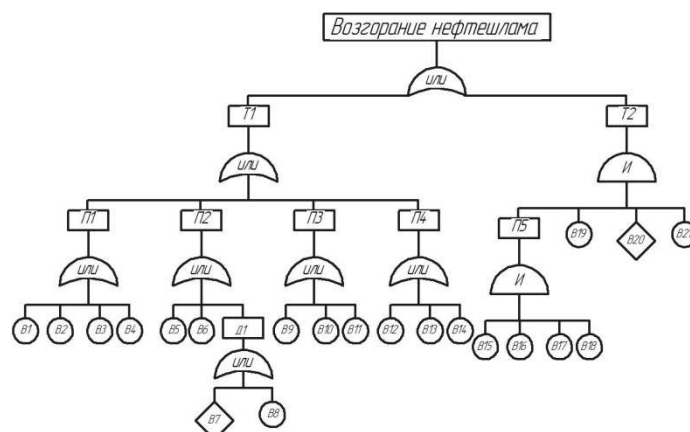


Рис. 1. Вариологическая модель возникновения очага загорания нефтешлама в амбаре

Таблица 1

Значения вероятностей возгорания событий для нефтешламового амбара

Нефтешламовый амбар		
№	Описание	Вероятность события
1	2	3
T1	Возгорание от источника искры	$3,8 \times 10^{-3}$
П1	Нарушение ТБ	$1,7 \times 10^{-3}$
V ₁	Курение	7×10^{-5}
V ₂	Искра от сварочных и огневых работ	6×10^{-4}
V ₃	Искра от механических работ	1×10^{-4}
V ₄	Искра от синтетической одежды рабочего	3×10^{-4}
П2	Искра от К.З. электрооборудования	2×10^{-3}
V ₅	Перегрузка сети	5×10^{-4}
V ₆	Нарушение правил эксплуатации	1×10^{-3}
Д1	Нарушение изоляции проводки	$5,1 \times 10^{-4}$
V ₇	Воздействие химических агрессивных веществ	10^{-5}
V ₈	Механическое повреждение проводов	5×10^{-4}
П3	Другие технологические производственные факторы	$1,4 \times 10^{-5}$
V ₉	Падение самолета, вертолѐта	1×10^{-6}
V ₁₀	Попадание технологического транспорта	10^{-5}
V ₁₁	Умышленный поджог	3×10^{-6}
П4	Внешний источник огня	$1,1 \times 10^{-4}$
V ₁₂	Падение метеорита	10^{-9}
V ₁₃	Удар молнии	1×10^{-6}
V ₁₄	Лесной пожар	1×10^{-4}
T2	Самовозгорание нефтешлама	$5,7 \times 10^{-4}$
П5	Гидрометеорологические условия	
V ₁₅	Температура воздуха	
V ₁₆	Скорость ветра	

1	2	3
V ₁₇	Облачность	
V ₁₈	Осадки	
V ₁₉	Длительность экспозиции солнечной радиации (инсоляцией)	
V ₂₀	Контакт фаз	
V ₂₁	Наличие тени от лесного массива, зданий.	

Выполнив необходимый объем расчетов, получили итоговую вероятность наступления события – возникновение источника воспламенения при эксплуатации нефтешламового амбара, исходя из данных о вероятностях начальных событий, она составила величину $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$.

Расчет вероятности и параметров самовозгорания нефтешлама

При хранении нефтешлама в амбаре на него воздействует солнечная энергия, тем самым, разогревая нефтешлам в амбаре.

При аномальной жаре, и постоянном влиянии солнечной радиации, а так же присутствия увеличенной площади контакта фаз, происходит нагрев верхнего, нефтезамазученного слоя нефтешлама. Увеличение площади контакта фаз происходит, когда поток жидкости, заполняющий амбар, поглощает на его краях растения и растительный опад. Образуется корка на поверхности, которая держит тепло нижних слоев. При нагреве солнечной радиацией, под данной образовавшейся коркой начинает происходить слабая деструкция, с выделением легких паров углеводородов. В свою очередь, они окисляются кислородом воздуха, происходит рост температуры до величины самовоспламенения. У большинства нефтей температура самовоспламенения колеблется от 200-300 °С [8]. Присутствие небольшой влаги только активизирует окислительные процессы, происходит рост температуры.

Для расчета критической температуры самовозгорания нефти, рассмотрим модельный амбар площадью 100 м² сторонами 10x10 м. Толщину нефтяного слоя примем до 0,5 м.

Критическая температура самовозгорания нефти в амбаре будет 260 °С, что подтверждают справочные данные. Данную температуру возьмем для расчета времени индукции по методике [9] окисления нефтешлама в амбаре. Полученные расчеты сведены в таблицу 2.

При расчете времени индукции самовозгорания нефтешлама в амбаре возьмем идеальные условия: то есть отсутствие облаков и осадков, отсутствие снижения теплоприёма при наличии затенённости лесным массивом. Нагрев происходит при постоянной солнечной инсоляции на протяжении всего времени, а так же отсутствия теплового отвода и конвекции в нижние слои нефтяного шлама.

Таблица 2

Данные расчета периода индукции нефтешлама в амбаре

Параметры				
Начальная температура, С	Температура критическая, С	Число Релея	Толщина нефтяного слоя, м	Время индукции, ч
20	260,5	$1,07 \cdot 10^{13}$	0,5	168,05
25		$9,9 \cdot 10^{12}$		95,56
30		$9,13 \cdot 10^{12}$		55,39
35		$8,45 \cdot 10^{12}$		32,71
40		$7,84 \cdot 10^{12}$		19,64
45		$7,29 \cdot 10^{12}$		11,99

Данные расчеты показывают зависимость от начальной температуры, и видно, чем выше начальная температура нефтешлама, тем меньше время индукции, то есть период от медленного окисления вещества к более быстрому, что вызывает эффект так называемого холодного горения переходящего в воспламенение.

Согласно выполненным расчетам, самовозгорание имеет место быть, особенно при продолжительной солнечной инсоляции, длящейся несколько дней. Температура солнечной радиации будет аккумулироваться в нефтешламе особенно в местах, где находится высокая область контакта фаз, а именно: в местах присутствия внешних примесей, как растительного характера, так и других техногенных составляющих, присутствие которых повышает скорость окислительных процессов.

Исходя из того, что под воздействием солнечных лучей, на поверхности нефтешлама будет образоваться «корка», нижние слои будут нагреваться, отдавая тепло только в нижний слой. Однако этого не будет достаточно для возгорания, при нагревании происходит процесс окисления все быстрее, в сложившихся условиях система не будет успевать «отдать тепло», и, тем самым, будет нагреваться до температуры самовозгорания.

Промежуток светового дня в Томской области в летнее время равен от 15 до 18 часов. Средняя температура в летние месяцы в дневное время равна от 23 до 28 °С. Максимальные средние дневные температуры до 33,4 °С. [10].

Исходя из проведенного анализа, благоприятные события будут связаны с начальной температурой, продолжительностью дня и отсутствия факторов, влияющих на величину солнечной инсоляции (облачность, количество осадков, наличие тени).

Проведенные расчеты показали, что вероятность самовозгорания нефтешлама будет очень высокой при условии, если изначальная температура окружающей среды будет равна 40 °С, а время солнцестояния, нагрева от солнца 17,5 часов.

Проведем расчёт вероятности возникновения события «Самовозгорание нефтешлама в амбаре», данные о климатических факторах берем из статистических наблюдений Томского гидрометцентра (ТГМЦ). [10].

Рассмотрим статистические данные ТГМЦ и рассчитаем вероятность самовозгорания нефтешлама на широте г. Томска:

Июнь:

$$P_{\text{июнь}} = 0,63 \times 0,5 \times 0,6 \times 0,31 \times 0,12 \times 0,03 = 3,2 \times 10^{-3};$$

где 0,63 – вероятность нагревания до критической температуры поверхность;

0,5 – наличие безветренной погоды (менее 2 м/с);

0,6 – вероятность солнечной погоды (отсутствие осадков и облачности);

0,31 – вероятность достаточной времени воздействия (продолжительность солнечной безоблачной погоды более 3 дней);

0,12 – вероятность наличия контакта фаз, (внешних примесей);

0,03 – вероятность тени от лесного массива.

Аналогично были получены результаты для периода активной солнечной инсоляции при отсутствии снежного покрова, данные расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчет вероятности возникновения самовозгорания

Месяц	Вероятность самовоспламенения	Месяц	Вероятность самовоспламенения
Январь	$1,0 \times 10^{-9} 0$	Июль	$2,4 \times 10^{-3} 0$
Февраль	$1,0 \times 10^{-9} 0$	Август	$8,4 \times 10^{-4} 0$
Март	$1,0 \times 10^{-9} 0$	Сентябрь	$1,4 \times 10^{-4} 0$
Апрель	$5,1 \times 10^{-5} 0$	Октябрь	$1,1 \times 10^{-5} 0$
Май	$3,6 \times 10^{-4} 0$	Ноябрь	$1,0 \times 10^{-9} 0$
Июнь	$3,2 \times 10^{-3} 0$	Декабрь	$1,0 \times 10^{-9} 0$

В летний период эксплуатации нефтешламового амбара, необходимо учесть фактор самовозгорания, в Томской области, при резко континентальном климате. Для субтропических и умеренно континентальных климатов данная вероятность самовозгорания будет значительно выше, исходя из средних максимальных температур и продолжительности солнечных дней. Вероятность самовозгорания в год будет $5,7 \times 10^{-4}$.

Итоговая вероятность возгорания нефтешлама в амбаре составляет $4,7 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹. Максимальная вероятность в самые жаркие месяцы может достигать: $7 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹ исходя из проведенных расчетов.

Как показано в проведенном исследовании, самовозгорание произойдет при наличии контакта фаз, происходят окислительно-восстановительные реакции с выделением тепла. В результате нагрева от источника тепла, солнечной радиации и низком атмосферном давлении, происходит испарение легких фракций углеводородов, переходя в газообразное состояние. Контакт фаз при данном явлении будет происходить между жидкой фазой нефтешлама и атмосферным воздухом. Как показано в расчетах, при увеличении температуры вещества происходит самонагревание нефтяного слоя. При уве-

личении температуры вещества, так же и увеличивается скорость самонагрева вещества, достигая температуры самовоспламенения и возгорания.

По результатам проведенного исследования, предложена структурно-методологическая схема анализа и порядок действий при решении подобной задачи. В основе предлагается пошаговое ее решение.

Использование данного подхода позволяет комплексно рассчитать риск самовозгорания на территории расположения. Данная оценка имеет вероятностный характер, при использовании предложенной схемы анализа необходимо учитывать причинно-следственные связи по логике: «условия/обстоятельства–причины–следствия».

Структурно-методологическая схема расчета самовозгорания нефтешламового амбара представлена на рисунке 2.

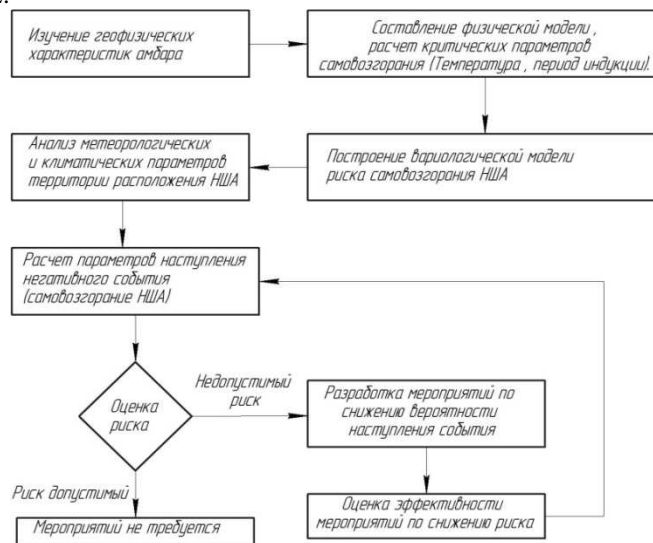


Рис. 2. Структурно-методологическая схема расчета самовозгорания нефтешламового амбара

Анализ полученных результатов и действующих нормативных материалов показывает, что при выполнении указанных требований риск сводится к минимуму. Однако отсутствуют требования для снижения риска самовозгорания в период сильной солнечной инсоляции.

Выводы.

На основании вариологической модели возникновения очага загорания нефтешлама в амбаре, рассмотрены параметры и критерии самовозгорания, получены данные, показывающие, что в период максимальной солнечной инсоляции и отсутствия параметров, влияющих на нагревание, вероятность самовозгорания достигает $3,2 \times 10^{-3}$, что является средним показателем и характеризуется «возможным» событием за период эксплуатации амбара.

Предложена структурно-методологическая схема анализа самовозгорания нефтешламового амбара, учитывающего геофизические параметры нефтешламового амбара и климатические характеристики территории расположения.

Эффективным мероприятием по ликвидации самовозгорания нефтешламового амбара, может явиться периодическая чистка от внешних примесей, тогда будут отсутствовать окислительные реакции, контакт фаз между жидким нефтешламом и примесью. Так же контакт фаз присутствует среди «жидкость – газообразное вещество». При этом начинается обильное испарение легких углеводородов, сопровождающееся повышением тепла. Чистка амбара позволит свести риски самовозгорания амбаров к минимуму.

Работа была проведена при финансовой поддержке Гранта РИНЦ – Томской области (код проекта – 16-41-700022) и Грантом Томского политехнического Конкурсная Программа Восстановления Университета.

Литература.

1. Федеральный классификационный каталог отходов / Утв. приказом МПР РФ от 2 декабря 2002 г. № 786 (с изменениями, внесенными приказом МПР РФ от 03 июня 2016 г. № 311).
2. Химия нефти и газа: учебное пособие / Рябов В.Д. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2014. – 336 с.
3. Соловьянов, А.А. Переработка нефтешламов с использованием химических и биологических методов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 5. – С. 30–39.
4. Критерии отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей природной среды: методическое пособие по применению / З.А. Васильченко, В.И. Ковалева, А.В. Ляшенко.– М., 2003. – 25 с.
5. Глазовская М.А., Пиковский Ю.И. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах / М.А. Глазовская, Ю.И. Пиковский // Природа. – 1980. – № 5. – С. 118-119.
6. Бочарникова Е.А. Влияние нефтяного загрязнения на свойства серо-бурых почв Апшерона и серых лесных почв Башкирии: Автореф. дисс...канд. биол. наук, М.– 1990.–16 с.
7. Рьльчикова А.В. Влияние шламовых амбаров «Орехово-Ермаковского» месторождения на окружающую среду : выпускная квалификационная работа : 05.03.06. – Тюмень.– 2016. – 77 с.
8. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пожарнаука. – 2004. – 713 С.
9. Методика определения условий теплового самовозгорания веществ и материалов. – М.: ВНИИПО, 2004. – 67 С.
10. Гидрометцентр России. Архив фактической погоды Томска. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.meteoinfo.ru/archive-pogoda/russia/tomsk>. Дата обращения: 25.03.2017 г.
11. Definition of time induction of self-ignition of the substance on the prognostic extrapolation depending on the basis of indicators fire and explosion hazard /Sechin A., Kyrmakova O., Osipenko S. Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 671. № 1. С. 012030.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*Д.С. Ермолаев, студент, Ю.В. Бородин, к.т.н., доцент.
Томский политехнический университет, г. Томск
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56
E-mail: denis.ermolaev.1994@mail.ru*

Аннотация: Действующие магистральные и внутрипромысловые нефтегазопродуктопроводы представляют собой сложные технические системы, обладающие мощным энергетическим потенциалом. Строительство и эксплуатация магистральных газопроводов приводит к губительным геоэкологическим последствиям. Источники воздействия: объекты, по которым транспортируется природный газ; землеройная, грузоподъемная, транспортная техника, применяемая при строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании трубопроводов. Наиболее чувствительный экологический ущерб наносится в результате аварий на магистральных трубопроводах.

Abstract: Operating the main and infield oil-and gas pipelines is a complex technical system, which has a powerful energy potential. The construction and operation of gas pipelines leads to destructive geo ecological consequences. Sources of exposure: facilities that transport natural gas; earthmoving, lifting, transportation machinery, used in the construction, operation and maintenance of pipelines. The most sensitive ecological damage as a result of accidents on pipelines.

Действующие магистральные и внутрипромысловые нефтегазопродуктопроводы представляют собой сложные технические системы, обладающие мощным энергетическим потенциалом и охватывающие 35% территории страны, на которой проживает 60% ее населения.

Строительство и эксплуатация магистральных газопроводов приводит к губительным геоэкологическим последствиям.

Наиболее чувствительный экологический ущерб наносится в результате аварий на магистральных трубопроводах. При разрушении магистрального газопровода и мгновенном высвобождении энергии газа возникают механические повреждения природного ландшафта и рельефа, нарушение целостности почвенно-растительного покрова. При возгорании газа механическое и бризантное воздействие сопровождается