

РОЗДІЛ «БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ»

УДК 629.039.58

МАХОВСКИЙ В.А., к.т.н, доцент
КРЮКОВСКАЯ О.А., к.т.н, доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ВЗРЫВО-ПОЖАРООПАСНОСТЬ ЗЕРНОХРАНИЛИЩ

Введение. Современные зернохранилища – это крупные инженерные сооружения, имеющие большие емкости для хранения зерна. В зернохранилищах принимают, взвешивают, очищают, сушат, обеззараживают, подготавливают партии зерна на семена, для переработки и для экспорта, а также хранят зерно и по мере надобности отгружают его потребителям и в производство. Зернохранилища снабжены необходимыми машинами и оборудованием.

К зернохранилищам, независимо от их конструкции, предъявляют следующие требования: влагонепроницаемость, прочность и плотность стен, полов, крыши и обеспечение количественной сохранности зерна; наличие удобных и свободных подъездов к разгрузочным устройствам; возможность герметизации в случае применения химических мер борьбы с вредителями хлебных запасов; возможность свободного использования имеющихся средств механизации внутри хранилища и наблюдения за качеством хранящегося зерна.

Основными зернохранилищами являются склады и элеваторы, в которых все операции с зерновыми культурами (пшеница, ячмень, кукуруза, рожь, овес, подсолнечник) полностью механизированы и частично автоматизированы.

Склады бывают механизированные и немеханизированные. Зерновые элеваторы представляют собой наиболее серьезную опасность единичных взрывов пыли.

Здание элеватора представляет собой несколько шахт, снабженных оборудованием для подъема зерна, привезенного по железной дороге или автотранспортом. Зерно поступает в шахты с помощью ленточного конвейера; существует такая же конвейерная система для выгрузки зерна из шахты в целях последующей транспортировки по железной или автомобильной дороге. Будучи убранным в сыром виде, зерно способно в последующем легко образовывать пыль в результате трения, возникающего при его перемещении. Зерновая пыль (элеваторная), находящаяся в определенной концентрации в воздухе, является сильным взрывчатым веществом. При наличии открытого огня для взрыва достаточна концентрация пыли в пределах 18-40 г/м³ воздуха. Хранение сырого зерна может сопровождаться также образованием метана и водорода. Смесь данных газов с воздухом являются взрывоопасными и могут привести к человеческим жертвам и большому материальному ущербу.

Постановка задачи. Исследовать и количественно оценить опасности, которые могут возникнуть во время приема и хранения зерновых культур на зернохранилищах. В качестве объекта исследования выбран элеватор Дочернего Предприятия «Баловский Комбинат Хлебопродуктов» общим объемом 147 тыс. тонн зерна, который расположен в с. Партизанское Днепропетровской области.

Результаты работы. Опасности объекта обследования обусловлены наличием внутри технологического оборудования зерна кукурузы, пшеницы, ржи, ячменя, овса, подсолнечника и возможностью образования взрывоопасных пылевоздушных смесей как внутри оборудования, так и в производственных помещениях, а также созданием взрывоопасных концентраций газо-воздушной смеси при хранении зерна в силосах. При сушке зерна в сушилках существует вероятность создания взрывоопасных газо-воздушных смесей как в топках, так и в помещениях.

В элеваторе при всех процессах, связанных с перемещением и очисткой зерна, происходит отделение от поверхности зерна минеральных и органических частиц пыли. При этом часть пыли переходит во взвешенное состояние.

Выгрузка зерна из вагонов и автомобилей, перемещение зерновых масс норями и транспортерами, загрузка зерна в силосы, выпуск его из бункеров и весовых ковшей – все эти операции сопровождаются значительным выделением пыли.

Зерновые элеваторы представляют собой наиболее серьезную опасность единичных взрывов пыли, возникающей в результате трения при перемещении зерна.

Опасность взрыва облака пыли в зерновых элеваторах, силосных, зерновых башнях тем выше, чем меньше они загружены. Разрушительная сила взрывов пыли, происходящих в оборудовании или в помещении, достаточно велика, однако вторичные взрывы – гораздо опаснее. Хранение сырого зерна может сопровождаться также образованием метана и водорода. Смеси данных газов с воздухом являются взрывоопасными.

Взрыв пыли происходит при мгновенном соединении горючей части пыли с кислородом воздуха с выделением большого количества тепла и газообразных продуктов, которые, нагреваясь, расширяются и образуют взрывную волну. Процесс окисления кислородом протекает на поверхности твердых частиц пыли. В зависимости от структуры и свойств исходного вещества и условий образования пыли ее частицы могут иметь различную форму, быть гладкими, шероховатыми, иметь различные размеры, что обуславливает воспламеняемость и взрываемость пыли [1].

Скорость образования взрывоопасной смеси возрастает по мере увеличения поверхности контакта воздуха и твердых частиц пыли, поэтому опасность взрыва зависит от размера частиц пыли и содержания кислорода в системе. Мелкодисперсная пыль с сильно развитой поверхностью характеризуется большей активностью, более низкой температурой самовоспламенения и широким интервалом между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости.

При низких концентрациях пыли расстояние между частицами, находящимися во взвешенном состоянии, велико, переноса пламени от частицы к частице не происходит, следовательно, взрыв не распространяется на весь объем. Чрезмерно большое количество пыли также препятствует возникновению и распространению взрывов, так как в этом случае в смеси содержится слишком мало кислорода для сгорания пыли.

Большая поверхность частиц обуславливает также высокую степень адсорбции газов на их поверхности. Вследствие более высокой температуры кипения кислорода, по сравнению с азотом, воздух, окружающий твердые частицы пыли, уплотняется и обогащается кислородом, при этом его химическая активность, а, следовательно, и взрывоопасность возрастают. Пыль, осевшая на поверхности твердых предметов, имеет более низкую температуру самовоспламенения, так как концентрация частиц в ней возрастает, и улучшаются условия аккумуляции тепла.

Взрывоопасные аэродисперсные системы могут возникать спонтанно, например, при встряхивании отложений пыли. Они имеют весьма широкие концентрационные пределы воспламенения: от десятков граммов до килограммов на кубометр воздуха. В замкнутом объеме технологического аппарата начавшееся горение и распространение пламени в аэрозвеси приводит к быстро нарастающему повышению давления, что может привести к разрыву аппарата, а затем к взрыву в окружающих помещениях. Поэтому проблема предотвращения и подавления взрывов пылевоздушных смесей в технологическом оборудовании и производственных зданиях является весьма актуальной.

Уровень опасности взрыва пыли, так же как и парогазовых смесей, характеризуется концентрационными пределами воспламенения, объемной плотностью энергоделиения, максимальным давлением, возникающим при воспламенении, скоростью распространения пламени и нарастания давления при взрыве, максимально допустимым содержанием кислорода в смеси пыли с воздухом, при котором пыль не воспламенится.

Взвеси пылей характеризуются весьма широким интервалом концентрационных пределов распространения пламени. Верхние концентрационные пределы распространения пламени (ВКПР) пыли обычно достаточно велики, и достичь их в производственных помещениях даже при аварийных ситуациях практически невозможно. Поэтому наиболее важен нижний предел, а также более высокие концентрации, при которых достигается максимальная объемная плотность энерговыделения.

Воспламенение смеси пыли с воздухом является одним из важных свойств горючих пылей; она определяет способность их распространять пламя по всему объему взвешенной пыли в воздухе при определенной минимальной концентрации этой пыли. Под давлением, возникающим при самовоспламенении смеси пыли с воздухом, в воздух поднимается столько пыли, осевшей вблизи места воспламенения, что взрыв может распространиться далеко за пределы очага возникновения вспышки.

При рассмотрении взрывов пыли разнообразных продуктов было установлено, что наибольшие разрушения происходили в зданиях старой постройки. Большинство из этих помещений не имели необходимых площадей легкобросываемых конструкций, а в ряде случаев оконные проемы, которые могли в некоторой мере компенсировать легкобросываемые взрывные покрытия, были заделаны прочными стенными материалами.

Чтобы предотвратить разрушение зданий от взрыва пылевоздушных смесей, следует предусматривать легкобросываемые площади зданий, обеспечивающие необходимый выброс продуктов взрыва пыли, и избегать создания подпольных каналов и помещений, в которых возможно скопление взрывоопасной пыли, а также предусматривать системы вентиляции и принимать меры по предупреждению скопления в них пылевоздушных смесей и образования источников инициирования взрыва.

Взрывы пыли могут происходить при двух обязательных условиях: достаточный объем взвешенной или осевшей пылевоздушной смеси и источник воспламенения достаточной мощности. Анализ показывает, что взрывам в объеме помещений предшествуют локальные хлопки в оборудовании и воспламенение на отдельных участках здания, что вызывает встряхивание пыли, осевшей на полу, стенах и других строительных конструкциях и оборудовании. Это приводит к образованию взрывоопасных концентраций пыли в объеме помещения, взрыв которой вызывает сильные разрушения. Поэтому нельзя допускать скопления пыли; причем осевшая пыль представляет собой не меньшую опасность, так как может быстро перейти во взвешенное состояние.

Опасность воспламенения и взрыва пыли обуславливается сочетанием двух факторов: наличием взвешенной или осевшей пыли и достаточно мощным источником воспламенения. Поэтому взрываемость пыли в значительной мере определяется характером и силой источника зажигания, с которым она соприкасается.

Анализ происшедших воспламенений и взрывов пылей на предприятиях пищевой промышленности показал, что следует обращать внимание на следующие источники воспламенения: открытое пламя; искры; нагретые и раскаленные предметы; нагретые поверхности; горячие пространства; теплоту трения; самовоспламенение; химические реакции; собирательное действие тепловых лучей; теплоту сжигания.

В каждом конкретном случае следует принимать меры по предотвращению воздействия источника энергии на воспламенение пыли.

Анализ аварий за последние 10 лет показал, что наибольшее количество взрывов (28%) приходится на агрегаты, в которых производятся размол и перемешивание измельченных продуктов; значительное количество аварий (22%) связано со взрывами в сушильных установках, в которых для сушки продуктов применяют нагрев; 25% взрывов приходится на агрегаты, в которых всегда имеется пылевоздушная смесь. Остальное количество взрывов приходится на электрофильтры, пылепроводы, а также локальные объемы отдельных помещений. Источниками зажигания пыли были искры удара и

трения, нагретые поверхности оборудования, открытое пламя, самовозгорание, искры статического электричества и замыкания (размыкания) электрических цепей.

Наибольшее количество взрывов происходит от тепловых источников механического происхождения (57%). Электрическое оборудование было причиной взрывов в 4,4% случаев, а статическое электричество – в 2%. Значительное количество взрывов происходит по неустановленным причинам.

Причины создания аварийных ситуаций могут быть различны: механические повреждения, обусловленные износом или усталостью материала; повышенная вибрация оборудования; отказ в работе аспирационной системы; неполадки в работе автоматики безопасности (для сушилки); выход параметров за критические значения (для сушилки); ошибки ремонтного и обслуживающего персонала; действие внешних факторов, природных сил; действие опасных факторов аварий смежных производств.

К аварийным ситуациям в зерносушилках относятся перегрев и загорание зерна.

Пожарная опасность зерносушилок характеризуется горючестью зерна и его большими количествами, наличием сгораемых конструктивных элементов, природного газа, подачей нагретого теплоносителя в массу зерна, а также путями распространения пожара. Пожарная опасность зависит от вида зерна, подаваемого на сушку (овес, просо, ячмень имеют легкогорючую оболочку и воспламеняются легче и чаще других зерен), наличия в нем сорных примесей, которые загораются легче зерна из-за того, что они имеют развитую поверхность. Зерновая пыль, выделяющаяся из зерна, кроме того оседает на конструкциях помещений, элементах оборудования, что значительно повышает пожарную опасность зерносушилок.

Зерносушилки связаны со сжиганием природного газа, выделением искр и нагретых продуктов горения. Причинами пожаров в сушилках являются: попадание искр в высушиваемое зерно, подача в сушильные камеры перегретого теплоносителя, нарушение или прекращение подачи зерна в шахту сушилки, уменьшение скорости или остановка движения зерна, а также неправильный пуск сушилки. Наличие отложений пыли в сушильных камерах и их длительный нагрев приводят к самовозгоранию пыли.

При выходе технологических параметров за критические значения, разгерметизации газопровода, при неполадках средств безопасности создается нестабильное горение в топке, которое может вызвать погасание пламени. Погасание пламени также возможно при ошибках обслуживающего персонала. Создается взрывоопасная концентрация газа.

В табл.1 приведены экспериментальные данные о содержании пыли в помещениях элеватора при неработающих вентиляционных установках.

Таблица 1 – Содержание пыли в воздухе помещений элеватора при неработающих вентиляционных установках

Место определения запыленности	Содержание пыли, мг/м ³
Помещение головок норий	85
Помещение для весов	250
Надсилосное помещение в зоне расположения насыпных лотков транспортеров	100
Надсилосное помещение в зоне сбрасывающей тележки	340
Подвальный этаж рабочей башни	320
Подсилосное помещение	145
Галерея под железнодорожными приемными ларями	225
То же, у отверстия насыпного лотка	1800

Анализ опасностей на потенциально опасных блоках (узле загрузки зерна, рабочей башне элеватора, силосном отделении, сушилке зерна) представлен количественной оценкой возможных последствий предполагаемых аварий, которая выполнена по стандартной методике, изложенной в „Общих правилах взрывобезопасности” [2].

Результаты количественной оценки возможных последствий прогнозируемых аварий в результате взрыва зерновой пыли, пылевоздушной и газо-воздушной смеси приведены в табл.2-4.

Таблица 2 – Результаты расчета показателей взрывоопасности зерновой пыли в узле разгрузки зерна

Наименование параметра, обозначение	Ед. изм.	Взрыв в бункере автопрокидывателя емкостью 43 м ³	Взрыв в помещении под приемными бункерами автопрокидывателей
Энергетический потенциал взрывоопасности, E	кДж	24013	257329
Относительный энергетический потенциал взрывоопасности, Q _в	–	1,74	3,85
Общая приведенная масса пыли, m	кг	0,52	5,59
Тротильный эквивалент взрыва, W _т	кг	0,21	2,30
R ₁	м	0,09	0,45
R ₂	м	0,14	0,66
R ₃	м	0,23	1,14
R ₄	м	0,68	3,32
R ₅	м	1,20	5,81

R₁ – радиус зоны полного разрушения зданий и смертельной опасности для людей, на границе которой избыточное давление по фронту ударной волны $\Delta P \geq 100$ кПа;

R₂ – радиус зоны сильных разрушений строительных конструкций, обрушения кирпичных стен и смертельной опасности для людей $\Delta P = 70$ кПа;

R₃ – радиус зоны слабых разрушений строительных конструкций, для восстановления которых требуется их частичная разборка, и смертельной опасности для людей на открытой местности $\Delta P = 28$ кПа;

R₄ – радиус зоны слабых разрушений (разрушение оконных проемов, легкосбрасываемых покрытий) и тяжелого травмирования людей на открытой местности $\Delta P = 14$ кПа;

R₅ – радиус зоны частичного разрушения остекления, нижний порог поражения людей на открытой местности, $\Delta P = 5$ кПа.

Выводы. При работе зернохранилищ к аварийным ситуациям и авариям могут привести: нарушение герметичности основного оборудования; отказ в работе аспирационных установок; нарушения норм технологического режима; действие внешних факторов, природных сил; ошибки ремонтного и обслуживающего персонала; нарушения правил противопожарной безопасности; повышенная вибрация оборудования; отказ в работе автоматики безопасности. При этом образуются выбросы пыли или газа как внутри оборудования, так и в помещениях с созданием взрывоопасных concentra-

ций, которые при наличии источника взрыва могут привести к взрыву и пожару, что вызывает разрушение оборудования, строительных конструкций и приводит к травмированию людей.

Сила и интенсивность взрыва зависят от многих факторов и достигают максимальных значений при соответствующем соотношении горючей массы и кислорода. Химическая активность зерновой пыли повышается, когда она находится во взвешенном состоянии, поэтому аэрозоль горит с большой скоростью, и иногда такое горение заканчивается взрывом. Воспламенению и взрыву подвержена только органическая часть пыли, а минеральная является лишь инертной составляющей.

Горение воспламеняющихся аэрозолей начинается и протекает медленней, чем горение горючих газовых смесей. Однако количество материала, приходящееся на единицу объема, в аэрозолях больше. И поэтому при их горении развивается значительное количество теплоты, образуется большой объем продуктов горения и большее взрывное давление, которое распространяется с большой скоростью. Взрыв пыли – это быстрое и самораспространяющееся сгорание, при этом взрывная волна разрушает конструкции зданий.

Основным направлением предупреждения взрывов пыли должна быть максимальная герметизация технологических систем и оборудования, а также систематическая и эффективная уборка помещений, исключающие накопление пыли до опасных пределов. Также необходимо избежать накопления облака пыли, быстрые превращения которого могут привести к возникновению вторичных взрывов.

Реальное применение такой стратегии осложнено в случаях с зерновыми элеваторами, силосными, зерновыми и прочими башнями, опасность взрыва в которых тем больше, чем меньше они загружены, поскольку масштаб разрушения от взрыва зависит от степени заполнения объема. Уменьшение объема обеспечивается разделением всего объема на отдельные части, что реализуется, например, в зернохранилищах с большим количеством силосных башен путем изолирования каждой отдельной башни.

Наличие аспирационной установки, обеспечивающей нормальные санитарные условия для работы, выполнение технологического процесса по отбору примесей, имеющих отличную от зерна сопротивляемость потоку воздуха, предупреждает возможность пожаров и пылевых взрывов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / Бесчастнов М.В. – М.: Химия, 1991. – 432с.
2. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: НПА ОП 0.00-1.41-88 (НАОП 1.3.00-1.01-88, ОПВ 88). – М.: Металлургия, 1988. – 60с.
3. Краткая химическая энциклопедия. Т.5. / гл. ред. Кнунянц И.Л. – М.: Советская энциклопедия, 1967. – 233с.
4. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник в 2 книгах / [А.Н.Баратов, А.Я.Корольченко, Г.Н.Кравчук и др]. – М., Химия, 1990. – 496с.

Поступила в редколлегию 14.12.2015.