

# Осторожно - зерновая пыль.

## ВВЕДЕНИЕ

В послевоенные годы во всех регионах страны бурными темпами стали строиться новые мукомольные заводы, появляться комбикормовые производства, развиваться сеть заготовительных элеваторов. Потребности в переработке зерна, производстве муки и комбикормов были огромными, и поэтому старые и новые предприятия отрасли работали на полную нагрузку. Отношение к эксплуатации этих предприятий по старинке было упрощенное. Вскоре это привело к тому, что на производствах стали происходить взрывы пыли с тяжелейшими последствиями. Современные технология и оборудование оказались весьма опасными. Непонимание этого как при проектировании, так и при эксплуатации этих производств приводило к авариям на мукомольных, комбикормовых заводах, элеваторах и других производствах, связанных с переработкой растительного сырья.

### ***Пылевой взрыв: причины и статистика***

Пылевой взрыв является самым страшным последствием наличия зерновой пыли помимо пожаров, возгораний и задымлений.

Настоящему риску подвержены все предприятия отрасли, независимо от размера, типа, конструкции зданий и сооружений.

Ежедневно элеваторы, предприятия со складами напольного хранения, комбикормовые заводы и мельницы, мелкие перевалочные зерновые пункты и огромные портовые терминалы подвержены риску полного разрушения в результате пылевого взрыва или пожара.

Зерновая пыль, источником которой является трение зерен друг о друга во время любого перемещения, при минимальной концентрации в воздухе обладает более разрушительной силой, чем динамит. Пылевой взрыв внутри замкнутого пространства создает избыточное статическое давление, в 12,5 раз превышающее точку разрушения железобетонной плиты.

Согласно статистике, в период с 1970 по 1990 на территории России произошло 200 пылевых взрывов разрушительной силы. Сегодня на территории Украины ежегодно происходит около 10 первичных пылевых взрывов на предприятиях хранения и переработки зерна.

Крупная катастрофа имела место на Балаклейском комбикормовом заводе, ст. Савинцы Харьковской области в 1992 г. В результате мощного пылевого взрыва были разрушены два этажа основного строения, повреждены наружные несущие конструкции, погибло 11 человек и 18 получили тяжелые травмы.

Пылевой взрыв представляет собой практически мгновенное возгорание мелких частиц зерновой пыли, приводящее к резкому росту температуры и давления.

Все эти факторы присутствуют в любом зернохранилище или на перерабатывающем предприятии: есть более чем достаточное количество воздуха; есть зерновая пыль, осевшая на полу, оборудовании, приставшая к стенам или залегшая в самотечных трубах, внутри конвейеров и норий; при работающем оборудовании есть некоторая взвесь зерновой пыли в воздухе, особенно в зонах приемки, перемещения или переработки зерна; имеется более чем достаточно источников возгорания (короткое замыкание, статическое электричество, перегрев подшипника, сход ленты, засыпанная нория, сварочные работы, резка металла и т.д.).

Нижний порог взрывоопасной концентрации зерновой пыли в воздухе составляет 40 гр/м<sup>3</sup>. Такое количество пыли едва сможет покрыть площадь в 1м<sup>2</sup>, при этом любая более высокая концентрация пыли в воздухе обладает еще более мощным взрывным потенциалом.

Температура в зоне пылевого взрыва возрастает до 3000С, а избыточное статическое давление достигает 10 кг/см<sup>2</sup>. Для сравнения – давление, необходимое для того, чтобы разбить оконное стекло, составляет 0,07 кг/см<sup>2</sup>; давление, достаточное для разрушения деревянной конструкции составляет 0,14 кг/см<sup>2</sup>; точка разрушения средней по толщине железобетонной плиты – 0,56 кг/см<sup>2</sup>.

Причиной масштабных разрушений предприятий является *вторичный* пылевой взрыв. Это явление приводит к намного более тяжким последствиям, чем изначальный «хлопок». К примеру, одной из



причин возгорания является засыпка нории. Пробуксовка ленты на приводной станции приводит к задымлению и возгоранию, что в свою очередь вызывает вспышку зерновой пыли.

Поток пламени с температурой около 2000С мгновенно распространяется вниз к башмаку нории. Волна огромного избыточного давления разрушает металлический корпус нории, при этом вызывая вибрацию и поднимая в воздух пыль, осевшую в соседних рабочих зонах. *Далее следует вторичный пылевой взрыв – вспышки пламени в рабочей башине, галереях, самотеках... полное разрушение предприятия в течение 1-2 минут.*

Пик аварийности пришелся на 70-80-е гг. прошлого столетия. Ежегодно происходило по 10-15 взрывов пыли с гибелью людей и разрушительными последствиями и множество аварий, которые удавалось скрывать от статистики.

1981 г. Взрыв на комбинате хлебопродуктов в г. Твери. Старое шестиэтажное здание мельницы с мощными кирпичными стенами было полностью разрушено. Погиб персонал двух смен (взрыв произошел во время пересменки).

1982 г. Мощные взрывы пыли прошли по объектам Ачинского комбината хлебопродуктов, разметав строительные конструкции, оборудование, жертвами которого стали десятки работников элеватора.

[1988 г. Томыловский элеватор. Три взрыва в силосе элеватора.](#) Попытка локализовать аварию приводит к следующему взрыву и гибели персонала. Процесс самовозгорания семян подсолнечника с последующими газопылевоздушными взрывами стал неуправляемым. Локализовать эту аварию не удалось, и элеватор в течение полутора лет медленно погибал из-за следовавших один за другим локальными очагами возгорания и взрывами в силосах. Огромнейший заготовительный элеватор из железобетонных конструкций в результате этой аварии прекратил свое существование.

[Весной 2013 года в г.Иркутске прогремел мощный взрыв.](#) Он почти полностью разрушил один из цехов местного элеватора. По началу эксперты говорили о взрыве газа, однако результат расследования оказался неожиданным. Причиной мощного взрыва стала пыль.

Предприятия по хранению и переработки зерна вошли в число наиболее опасных отраслей промышленности и решением правительства страны в 1990 г. были переданы под государственный надзор. Во исполнение постановления Совета Министров СССР в структуре Госпроматомнадзора СССР было создано подразделение по надзору за предприятиями хлебопродуктов, организована соответствующая межрегиональная инспекция. В настоящее время надзор осуществляется на более 10 тыс. опасных производственных объектах хранения и переработки растительного сырья. Формирование созданного вида надзора осуществлялось опытными руководителями и специалистами отрасли. Приход на работу квалифицированных специалистов позволил оперативно решить организационные и правовые вопросы деятельности инспекторского состава надзора и в короткие сроки организовать действенный государственный надзор за взрывоопасными объектами хранения и переработки растительного сырья.

Стало несомненным то, чтобы успешно предотвращать аварии на этих объектах, необходимо знать причины их возникновения. Был создан банк данных обо всех взрывах, происшедших на предприятиях отрасли, проведена статистическая обработка. По материалам расследований взрывов были установлены основные причины воспламенения пылевоздушных смесей, наиболее взрывоопасные участки (блоки) технологии хранения и переработки растительного сырья, динамика развития пылевоздушного взрыва, пути его распространения по технологическим коммуникациям. Статистика свидетельствует, что наибольшее количество взрывов имело место на комбикормовых производствах, в складах хранения растительного сырья и продуктов его переработки (45%). Не менее опасными оказались и элеваторы, на которых произошло 33% взрывов. Велика опасность мукомольного производства (22%).

Обобщая статистические данные, можно сказать, что основными причинами взрывов являются:

- нарушения правил эксплуатации или неисправность оборудования (34%);
- самовозгорание сырья и продуктов его переработки (22%);
- проведение огневых работ с нарушением требований взрывобезопасности;
- нарушение правил эксплуатации зерносушильных установок (12%);
- нарушение правил пожарной безопасности (6%), в том числе требований взрывобезопасности при



тушении пожаров на опасных производственных объектах.

Аварии на производствах хранения и переработки растительного сырья характеризуются тем, что пылевоздушный взрыв редко бывает один. Это, как правило, несколько чередующихся друг за другом взрывов (в других помещениях, а иногда и на других объектах, которые соединены между собой едиными технологическими коммуникациями). Но при этом всегда есть первичный взрыв. Наибольшее количество первичных взрывов происходит в оборудовании (около 50%) и в емкостях (силосах и бункерах) - свыше 40%. Из оборудования наиболее опасными являются норрии, зерносушилки, вальцовые станки, дробилки, конвейеры и вентиляторы. Многие аварии сопровождались значительными разрушениями оборудования, зданий и сооружений. Причем наиболее разрушительные последствия имели место на элеваторах (45%) и мукомольных заводах (35%), а на комбикормовых заводах лишь 20%.

По материалам расследований аварий были установлены следующие основные причины разрушительных последствий взрывов:

- отсутствие и неэффективность существующих средств взрывозащиты оборудования;
- отсутствие легкобрасываемых конструкций в силосах и бункерах;
- отсутствие или неэффективность легкобрасываемых конструкций зданий и сооружений;
- отсутствие систем локализации взрывов.

В какой-то мере это объясняется тем, что элеваторы и мельницы в основном строились без учета требований взрывобезопасности, поскольку это более старые постройки и ранее они считались лишь пожароопасными. Взрывозащита зданий и сооружений, силосов не предусматривалась.

Комбикормовая отрасль развивалась позже, когда взрывы стали происходить все чаще и проектные организации начали больше уделять внимание взрывозащите этих объектов.

Но не только на этих производствах происходят аварии. Взрывы имеют место на подобных объектах пивоваренного и солодовенного производств, на хлебопекарных предприятиях, сахарных заводах и производствах растительного масла, деревообрабатывающих комбинатах и т.д.

Наряду с анализом причин аварий на отечественных предприятиях одновременно анализировался зарубежный опыт предупреждения аварий на подобных производствах, их нормативно-техническая и правовая база. Все это позволило сформировать российскую нормативно-техническую документацию по взрывобезопасности. В настоящее время утверждены и зарегистрированы в Министерстве юстиции ряд руководящих документов, в которых определены требования взрывобезопасности этих производств: Правила промышленной безопасности для взрывопожароопасных производственных объектов хранения, переработки и использования растительного сырья (ПБ 14-586-03), Инструкция по проектированию, установке и эксплуатации взрыворазрядных устройств на оборудовании... (РД 14-568-03) и др.

Осуществление государственного надзора и проводимая на поднадзорных предприятиях целенаправленная работа по приведению опасных объектов в соответствие требованиям взрывобезопасности способствовали резкому сокращению количества аварий при эксплуатации взрывоопасных объектов, в том числе пылевоздушных взрывов. Если за 1975-1990 гг. на предприятиях Российской Федерации произошло 90 взрывов, то за аналогичный период с 1991 по 2005 г. - 17 взрывов.

К сожалению, риск техногенных аварий на этих объектах не исключен. А как показывают проверки, проводимые инспекторами надзора, на некоторых предприятиях такая опасность чрезвычайно велика из-за многочисленных нарушений требований взрывобезопасности. Подобное пренебрежение рано или поздно приводит к печальным результатам.

2004 г. Вороновский солодовенный завод (Московская область) проектировался без учета взрывоопасности определенных участков производства, которые необоснованно были отнесены к категории пожароопасных. Соответственно, не были предусмотрены меры взрывопредупреждения и взрывозащиты. Все это привело к тому, что спустя несколько месяцев после пуска производства в эксплуатацию произошел пылегазовоздушный взрыв в бункере ростков и аспирационных отходов. Пострадали люди, частично разрушены строительные конструкции здания.

Сегодня накоплен определенный опыт профилактической работы, направленной на снижение аварийности на взрывоопасных объектах. Технологическое оборудование, представляющее реальную



опасность в качестве источника первичного взрыва, оснащается техническими средствами контроля: реле контроля скорости, схода ленты, датчиками подпора и др. Нории, дробилки, зерносушилки и фильтры-циклоны оснащаются взрыворазрядными устройствами. Потенциально опасное оборудование выделяется в отдельные технологические блоки с использованием систем локализации взрыва (быстродействующих устройств или соответствующего технологического оборудования: шлюзовых затворов, винтовых конвейеров).

Результативность таких мер убедительно подтвердилась на солодовенном производстве ОАО "Объединенные пивоваренные заводы" (г. Саранск). При демонтаже воздухопроводов аспирационной системы с применением угловой шлифовальной машины произошел локальный взрыв пыли в нории. Благодаря наличию взрыворазрядного устройства на нории и системы локализации взрыва между этой норией и бункером, в который подавался продукт, данный инцидент не развился в аварию с тяжелыми последствиями.

Для уменьшения риска аварий применяются полимерные материалы в нориях, конвейерах, бункерах и силосах. Интерес представляет система масляного орошения зерна, позволяющая снизить концентрацию пыли внутри оборудования при транспортировании зерна до взрывобезопасных концентраций. Получают распространение современные аспирационные установки, эффективные и более безопасные.

Немаловажное значение имеет готовность предприятий к ликвидации аварийных ситуаций и их последствий. Не единичны случаи, когда неграмотные действия персонала в ходе ликвидации аварийной ситуации или пожара приводили к ее развитию с тяжелыми последствиями. В этой связи на многих предприятиях вводится в практику проведение учебных тревог по ликвидации аварий на взрывоопасных объектах с участием в них представителей территориальных органов Ростехнадзора и Государственного пожарного надзора. В настоящее время по инициативе солодовенного завода "Суфле-С.-Петербург" подготовлены методические рекомендации по проведению учебных тревог. Реализация организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение взрывобезопасности действующих производств, позволяет свести вероятность возникновения аварии к минимуму.

Взрывоопасность пыли зависит от ее концентрации, размера и состава частиц, влажности и температуры и влажности окружающей атмосферы.

### ***Концентрация пыли.***

Рассмотрим облако пыли с частицами различных размеров, находящимися на различных расстояниях. Если некоторые из этих частиц загораются, то должно выделиться и передаться соседним частицам достаточное количество тепла, чтобы их температура поднялась выше температуры воспламенения и была обеспечена достаточная энергия для загорания. Чем выше концентрация, тем более эффективна теплопередача и, следовательно, распространение горения от одной частицы к другой.

Взрыв может распространяться только в том случае, если концентрация пыли в облаке находится между нижним и верхним пределами взрывоопасной концентрации.

Нижний предел взрывоопасной концентрации представляет собой минимальную взрывоопасную концентрацию горючей пыли, взвешенной в воздухе, которая может распространять пламя.

Верхний предел взрывоопасной концентрации представляет собой максимальную взрывоопасную концентрацию горючей пыли, взвешенной в воздухе; при этом вокруг находящихся во взвешенном состоянии частиц очень мало воздуха, который способствует воспламенению. При очень высокой концентрации пыли в воздухе взрыв не происходит, а может быть только медленное горение.

Верхний предел взрывоопасной концентрации пыли определить очень трудно; для органической пыли он принят равным 1000 г/м<sup>3</sup>.

### ***Размер частиц.***

Теплота, образуемая частицей, зависит от ее размера, и для различных зерновых пылей этот размер изменяется. Тонкая пыль более взрывоопасна и воспламеняется легче. Исследования показали, что чем меньше частицы пыли, тем больше ее удельная поверхность, больше интенсивность контакта между частицами пыли во взвешенном состоянии и окружающим воздухом и более сильным будет



взрыв.

Нижний предел взрывоопасной концентрации частиц пыли размером меньше 60 мкм составляет примерно 40 г/м<sup>3</sup>. Частицы размером 60—120 мкм более трудно перевести во взвешенное состояние, и они не будут оставаться в таком состоянии без внешней помощи; нижний предел их взрывоопасной концентрации значительно выше, чем эта величина для частиц меньшего размера, а взрыв будет значительно менее сильным. Частицы размером более 120 мкм недолго остаются во взвешенном состоянии и чрезвычайно трудно воспламеняются.

### ***Состав частиц.***

Обычно состав частиц пыли идентичен составу перерабатываемого или транспортируемого зерна. На практике частица зерновой пыли содержит много типов молекул с различной теплотой сгорания. Изменения могут быть обусловлены различиями в оборудовании для выделения пыли, типами перерабатываемого зерна и другими факторами.

Химический состав частиц, связанный с характеристиками реакции горения, определяет минимальную температуру зажигания и минимальную энергию воспламенения пыли.

### ***Влажность частиц пыли.***

По-видимому, влажность может быть очень важным параметром взрывоопасности зерновой пыли с двумя значительными последствиями, а именно с повышением минимальной энергии зажигания и повышением минимальной взрывоопасной концентрации. Тепловая энергия, передаваемая влажной частице, сначала расходуется на повышение температуры зерна и влаги.

При достижении точки кипения воды дополнительная тепловая энергия будет использоваться для превращения влаги в пар и выделения пара из частицы. Дополнительная тепловая энергия будет в таком случае только повышать температуру компонентов зерна, возможно до воспламенения. Чем больше влаги содержит пыль, тем меньше вероятность ее взрыва. Зерновая пыль с влажностью 14% и более трудно воспламеняется.

### ***Температура и влажность окружающей среды.***

Для частиц пыли, находящихся в атмосфере во взвешенном состоянии в течение достаточно продолжительного времени, устанавливается равновесие между влажностью пыли и относительной влажностью атмосферы. Чем выше температура атмосферы и относительная влажность, тем выше, вероятно, будет влажность зерновой пыли.

Водяной пар в воздухе повышает теплопроводность, которая может улучшить теплопередачу от одной частицы к другой. Водяной пар также повышает электропроводность атмосферы. Заряды статического электричества, накапливаемые на любой поверхности или предмете, будут рассеиваться более быстро в более проводящей, влажной атмосфере, чем в менее проводящей, более сухой атмосфере.

Когда горючий материал, как, например, небольшой кусок дерева, нагревается до загорания, он начинает гореть и будет медленно гореть до тех пор, пока не останется в контакте с воздухом (кислородом) ограниченная поверхность. Во время горения медленно выделяющаяся тепловая энергия передается в окружающую среду без опасности. Если тот же кусок дерева измельчить в тонкую пыль или порошок и смешать с воздухом так, чтобы образовалось облако пыли, то в момент загорания от внешнего источника теплоты образующаяся энергия может мгновенно освободиться в виде первичного взрыва ограниченной интенсивности.

Это приводит к быстрому повышению давления, накоплению теплоты и неконтролируемому эффекту расширения. Резкое возрастание давления частично обусловлено внезапным расширением больших объемов газа и частично местным повышением температуры (изотермическая реакция).

Выделяющаяся теплота в конечном итоге рассеивается в окружающей среде, так что воздействие давления взрыва является кратковременным. Скорость горения немного превышает скорость охлаждения, так что влияние взрыва становится очевидным. В зданиях или сооружениях скорость распространения пламени колеблется от нуля до сотен метров в секунду.

Опыт и многие лабораторные эксперименты показали, что пыль практически всех горючих материалов при определенных условиях может вызывать взрыв или очень быстрое горение.



Одновременно необходимо наличие следующих элементов: смесь горючей пыли с воздухом во взвешенном состоянии, источник зажигания достаточной энергии, температура и время, способствующие взрыву, а также количество кислорода (более 8%), достаточное для поддержания быстрого горения. Зерновая пыль легко воспламеняется, и в смеси с воздухом в определенной концентрации пылевоздушная смесь имеет тенденцию к образованию взрывоопасного газа. Пылевоздушная смесь является взрывоопасной, если она может взрываться при определенной концентрации, находясь во взвешенном состоянии. Пылевоздушная смесь представляется взрывоопасной, когда эта реакция может начинаться медленно и развиваться очень бурно. При перечислении условий возникновения взрыва иногда упоминают некоторые дополнительные факторы:

а) горючее (пыль) должно быть хорошо смешано с окислителем. Лабораторные эксперименты показали, что чем интенсивнее перемешивание пыли с воздухом, тем сильнее взрыв. Два фактора влияют на силу взрыва — максимальное давление взрыва и максимальная скорость повышения давления.

Повышение давления — результат внезапного образования газа в процессе химической реакции и выделения при этом тепловой энергии;

б) смесь должна находиться в замкнутом или ограниченном объеме. Если облако пыли находится в замкнутом объеме, возникающее при взрыве давление будет возрастать, увеличивая тем самым разрушения;

в) зерновая пыль должна быть в концентрации, находящейся в пределах взрывоопасного диапазона, который, в свою очередь, определяется составом, распределением, влажностью, размером частиц и другими свойствами зерновой пыли.

Неподвижная пыль на этажах или в углах вызывает дополнительную опасность, так как ударная волна первичного взрыва перемещает ее вверх, обеспечивая горючий материал для вторичного взрыва, который по силе может значительно превосходить первичный взрыв и, в свою очередь, создавать благоприятную для третьего взрыва ситуацию. Таким образом, образуется цепная реакция со все возрастающей интенсивностью, кульминационным моментом которой является полное разрушение и пожар. Повышенное давление при первичном взрыве обычно может нейтрализоваться с помощью окон, дверей и взрыворазрядных устройств (легкосбрасываемых конструкций). Однако во время вторичного взрыва давление может повышаться настолько сильно, что существующие устройства недостаточны и конструкции, обладающие большим сопротивлением, будут разрушаться. Например, при первичном взрыве в норрии норийные трубы и кожух головки разрываются или получают трещины в наиболее слабых местах, а вспыхнувшая и горящая пыль выбрасывается наружу.

Наиболее распространенный тип взрыва на элеваторах называют «быстрым сгоранием» (дефлаграция). Важной характеристикой этого явления является то, что скорость распространения пламени меньше скорости звука.

Другим типом взрыва является «детонация», при которой пламя распространяется со скоростью около 1000 м/с.

Наибольшую эксплуатационную опасность в зернохранилище представляет пыль, образующаяся главным образом в результате истирания зерна. Она состоит из частиц оболочек, тонкоизмельченных волосков бородки зерна, частиц эндосперма битых зерен, кусков мякины и соломы и частиц почвы. Частицы настолько тонки, что находятся во взвешенном состоянии в воздухе, загрязняют его, а иногда вызывают пожар и взрыв.

Если зерно перемещается в открытом помещении, тонкие частицы уносятся воздушным потоком за пределы помещения. Зерновая пыль относительно безвредна, даже при ее вдыхании (многие рабочие работают в течение 30-40 лет на элеваторе). Тем не менее люди не любят, когда пыль оседает вблизи элеватора. Фильтруя весь воздух или большое его количество внутри элеватора или на выходе из него, можно удалить тонкие частицы. При таких операциях снаружи элеватора, как перелопачивание или перемещение зерна из грузовых автомобилей в вагоны, сушка зерна или очистка, перемещение зерна из элеватора в вагоны или суда, всегда поднимается пыль, которую необходимо собирать, а сбор пыли удорожает перечисленные операции.

Пыль может быть причиной взрыва, который вдребезги разносит бетонные стены силоса, уносит



бетонные надстройки на расстояние нескольких кварталов, поднимает силосы с зерном, весящие сотни тонн. Хотя современная технология до некоторой степени уменьшила эту опасность, она все еще сохраняется. В прошлом взрывы пыли наносили огромный ущерб и даже приводили к человеческим жертвам. Один из наиболее сильных взрывов произошел в 1878 г, который разрушил мельничный комплекс Вашбурн-Кросби в Миннеаполисе, Другой взрыв произошел в 1921 г. на элеваторе Армура — в то время самый большой и наиболее насыщенный оборудованием элеватор. Сооружения элеватора были полностью разрушены, а бетонные блоки массой свыше тонны — отброшены на расстояние до 180 м.

В результате сильного взрыва на элеваторе в американском штате Канзас погибли три человека, двое были госпитализированы с сильными ожогами. Взрыв произошел вечером в субботу, 29 октября 2011г. в небольшом городе Атчисон (Atchison), который находится в 80 километрах северо-западнее Канзас-Сити. Взрыв был такой силы, что был слышен и виден на расстоянии пяти километров. Как сообщают власти штата, еще трое работников элеватора до сих пор не найдены, 30 октября, их поиски были приостановлены. Причиной остановки называется опасность пребывания спасателей на территории элеваторного комплекса.

Причины происшествия устанавливаются, но основная версия - воспламенение элеваторной пыли. Взрывы произошли вследствие воспламенения взвешенной в воздухе зерновой пыли. Взрывы воспроизводились в малом масштабе в лаборатории, что позволило изучить условия, при которых они происходят. Для взрыва необходимы три условия: соответствующая смесь пыли с воздухом, искра или температура около 204°С и замкнутое пространство. Современные элеваторы строят с очень небольшими замкнутыми пространствами, устанавливают оборудование, исключающее появление искр или повышение температуры, по возможности не допускают запыления воздуха. Искра или пламя возникают по разным причинам. Искра может быть высечена железным гвоздем в ботинке рабочего, ударом лопаты о бетонный пол. Искрят испорченные электродвигатель, включатель, электропроводка. Взрыв может быть вызван накоплением статического электричества, перегревшимся подшипником, запрещенной горячей сигаретой или электрической лампочкой при разрушении колбы.

Взрыв пыли часто происходит в две стадии. Первоначальное воспламенение сопровождается сильной воздушной волной, которая поднимает тонкую пыль со стен, пола и других поверхностей. Образовавшееся облако пыли моментально воспламеняется, вызывая сильный взрыв. В открытом пространстве давление воздуха, вызываемое внезапным повышением температуры и продуктами сгорания, распространяется как быстро движущаяся воздушная волна. В замкнутых же пространствах, таких, как нижний этаж элеватора, в силосах или в верхнем этаже над силосами возникает давление, которое разрушает самые прочные препятствия.

### ***Технология предотвращения образования зерновой пыли***

Настоящая технология широко распространена в странах Южной, Северной Америки и Западной Европы и признана самым эффективным и дешёвым способом борьбы с зерновой пылью в отрасли хранения и переработки зерна. Эта технология гарантировано предотвращает образование зерновой пыли при работе с зерновыми и масличными культурами в самом начале технологического маршрута предприятия.

Технология состоит в распылении подсолнечного рафинированного дезодорированного масла на зерно в потоке. Масляный аэрозоль обволакивает зёрна, предотвращая или снижая их трение друг о друга при любом перемещении, что позволяет уменьшить количество зерновой пыли в рабочих зонах на 75-90%.

Данная технология ни в коем случае не направлена на связывание зерновой пыли, т.е. целью распыления масла не является связывание мелких частиц зерновой пыли в нелетучую маслянистую массу. Как известно, первопричиной запыленности рабочих зон является именно трение зерен друг о друга. Существенно снизив или устранив данное явление (а именно на это направлена настоящая технология), вы полностью решаете проблему видимой запыленности рабочих зон и оборудования, так как количество зерновой и сорной пыли, попадающее на предприятие «с поля» является абсолютно незначительным.

Выбор именно подсолнечного масла для применения в данной технологии не является



принципиальным и обуславливается спецификой локального рынка, т.е. стоимостью масла и, соответственно, затратами на обработку одной тонны зерна. В странах Южной Америки используется соевое, а в США предпочтение, по причине стоимости, отдается минеральному маслу, которое имеет разрешительные документы для прямого контакта с продуктами питания. Зерно, обработанное один раз в начале технологического маршрута предприятия, не пылит при дальнейшем перемещении и последующем поступлении на технологические процессы очистки, сушки, хранения или переработки, и не теряет своих «антипылевых» свойств в течение 4-6 месяцев. Низкие затраты данной технологии обусловлены концентрацией масла, необходимой для предотвращения образования зерновой пыли – не более 0,2 кг масла на 1000 кг зерна. Незначительная концентрация масла в 0,02% от веса зерна, достаточная для достижения максимального эффекта, не изменяет его качество или состояние, не влияет на последующую сушку, очистку, хранение и переработку. Наличие такой концентрации масла в зерне визуально неопределимо. Обработанное зерно не оставляет «жирного следа» на технологическом оборудовании, и при концентрации масла в 200 грамм на тонну оказывает меньшее влияние на ленты конвейерных маршрутов, чем обычный подсолнечник. Единственным ограничением является обработка пивоваренных сортов ячменя по причине «пеногасящих» свойств масла.

### ***Методы предупреждения от взрывов.***

Ограничение доступа кислорода. Кислород как компонент окружающей среды всегда присутствует в элеваторах и зернохранилищах. В некоторых отраслях кислород исключают известным методом, который предусматривает замену некоторого объема I воздуха инертным газом с целью уменьшения содержания кислорода от обычных 21 % до 8—10 %, так чтобы концентрация кислорода была ниже, чем требуется для распространения пламени. Это осуществимо в закрытых системах среднего размера. Однако зерновые элеваторы нельзя считать полностью закрытыми системами, поскольку они имеют значительные размеры и высокую производительность транспортирования. Эти факторы затрудняют определение необходимого количества инертного газа для эффективного предупреждения взрывов.

Устранение пыли. На предприятии по хранению и переработке зерна зонами, где наиболее вероятно образование облаков пыли и где концентрация пыли, по-видимому, максимальная, будут следующие:

- самотеки и желоба, особенно при высокой скорости продукта в длинных самотеках;
- приемные бункера при разгрузке вагонов и автомобилей самотеком;
- отпусчные трубы в автомобили, вагоны, океанские суда и баржи;
- ленточные конвейеры, перемещающиеся с чрезмерными скоростями, поднимающие пыль вследствие сноса ее ветром и ударов на роликоопорах и в точках перегрузки;
- нории как наиболее мощные источники пыли, особенно вблизи башмака и в точках разгрузки;
- поворотные и маятниковые распределительные трубы в точках загрузки и разгрузки;
- зерноочистительные машины, перемещающие зерно; весовые устройства с периодической загрузкой и выгрузкой бункеров;
- зоны заполнения силосов и галереи, где зерно падает в силосы.

Пыль является горючим для взрыва. Если образование облака пыли полностью исключается во всех этих операциях, то взрывов пыли не будет. Однако каждый раз при изменении направления зернового потока, падении его из силоса, автомобиля или бункера или в них происходит истирание небольшой части внешней поверхности зерновки, и образуются новые частицы пыли.

Полное выделение аспирационной пыли или возврат зерновой пыли в поток зерна теоретически считаются фактором, способствующим взрывам зерновой пыли. Однако опыт доказывает, что:

- выделение зерновой пыли из зерна и невозвращение ее в зерновой поток не обязательно будут уменьшать содержание пыли в зернохранилищах и элеваторах; следовательно, полное выделение всей пыли не является оптимальным решением;

- пыль в кормовом зерне имеет определенную питательную ценность (белок, жир, клетчатка) и покупается с зерном по той же цене;
- не всякая пыль одинаково опасна; тонкая пыль, которая прошла через фильтр, — суше, она более взрывоопасна и легче воспламеняется, чем пыль, выделенная в циклоне.





При возврате в зерновой поток мелких и сухих частиц пыли потенциальная опасность первичного взрыва зерновой пыли значительно возрастает. Решением проблемы может быть двухэтапная система: первый этап — использование циклона, в котором выделяются более крупные частицы и возвращаются в зерновой поток, и второй этап — использование фильтра, в котором выделяются более мелкие и более сухие частицы размером менее 20 мкм.

Следовательно, при использовании этой системы будет потеряно только небольшое количество пыли.

Использование эффективной, хорошо спроектированной и правильно эксплуатируемой аспирационной системы без возврата мелких и сухих частиц в зерновой поток — не единственный, но, несомненно, очень важный шаг в предотвращении взрывов пыли.

Устранение источников зажигания. На предприятиях по хранению и переработке зерна могут быть различные источники зажигания. Некоторые из них имеются при обычной работе предприятия, например трение в движущихся узлах и образование статического электричества; другие, вероятно, появляются при аварийном режиме работы, электрическом или механическом повреждении. Ряд различных источников зажигания перечислен ниже. Хотя имеется большое число различных источников зажигания, отличающихся разными температурами, энергией, продолжительностью и т. п., их удобно сгруппировать как электрические, механические и другие источники.

К электрическим источникам зажигания относятся следующие.

Освещение: на практике обычное освещение (дневное или искусственное) в определенных частях здания часто недостаточно, поэтому используются лампы с гибким шнуром. Особенно при освещении силосов элеватора или бункеров, где имеется пыль во взвешенном состоянии, возможны следующие опасности:

- колба электрической лампы выделяет так много теплоты, что она может воспламенить пыль;
- лампа может оказаться в массе зерна или пыли;
- удар может привести к разрушению колбы и короткому замыканию;
- гибкий шнур может быть поврежден или плохо соединен с патроном;
- могут использоваться лампы большего размера с более высокой мощностью, чем допускает арматура, при этом выделяется излишняя теплота.

Для устранения этой опасности при освещении силосов, бункеров или запыленных мест необходимо использовать только переносные лампы с питанием от батарей. Из-за низкой силы тока выделяется меньше теплоты и нет опасности от гибкого шнура. Никогда не опускайте электрические лампы в зерновые силосы или бункера с пылью. Существуют лампы, которые могут достаточно хорошо освещать силос при их расположении над люком.

Взрывы пыли могут быть вызваны искрами, появляющимися при коротком замыкании в электрических системах, а именно в плавких вставках, поврежденных и перегруженных кабелях, слабых и ненадежных соединениях кабелей, открытых контактах, открытых соединительных коробках и всех видах поврежденного или плохо отрегулированного электрического оборудования. Вследствие того что зоны работ с зерном классифицируются как опасные, необходимы особые меры предосторожности при конструировании оборудования. Все узлы должны быть или полностью закрыты, или размещены в пыленепроницаемых огнестойких корпусах. Электродвигатели могут быть полностью закрытыми, но снабжены охлаждающим вентилятором, поскольку они в условиях полной нагрузки работают при температурах около 80 °С. Прокладка всех электрических проводов должна соответствовать спецификациям и требованиям.

Размер вставки и выбор теплового реле определяются характеристиками оборудования, которое необходимо защищать. Если выбрать слишком большую вставку или неправильно отрегулировать тепловое реле, оборудование будет недостаточно защищено и может произойти пожар.

Перегрузка, короткое замыкание в обмотках, плохая вентиляция из-за изолирующего слоя пыли на электродвигателе, поврежденные или плохо смазанные подшипники и пыль в корпусе электродвигателя между ротором и статором — все это может быть причиной перегрева электродвигателя. Температура электродвигателя никогда не должна быть выше 70—80 °С. При более высокой температуре смазка подшипников может воспламениться, в результате чего сгорят обмотки двигателя. В зависимости от применения современные электродвигатели оборудуют датчиками температуры, которые отключают электродвигатель в случае превышения определенной



температуры.

Теплота, выделяемая электрическими радиаторами, горячими плитами, электрическими кофеварками и т. п., может быть достаточно большой, чтобы зажечь пыль или даже зерно. Использование такого оборудования в зерновых элеваторах, если не исключается, то, по крайней мере, должно быть ограничено жесткими правилами.

Небольшие электрические инструменты, как правило, не приводят к взрыву пыли, однако сохраняют определенную потенциальную опасность. Например, выключатель, гибкий шнур или штепсельный разъем могут вызвать короткое замыкание.

Статическое электричество возникает в процессе транспортировки зерна. При движении зерно приобретает электрический заряд, который необходимо отвести в землю. Основной защитой от пожаров из-за статического электричества являются правильное электрическое заземление всех элементов установки и сохранение неразрывности электрической цепи во время эксплуатации и в течение всего срока службы установки. Сопротивление заземления следует измерять через определенные интервалы времени. Все конвейерные ленты и транспортное оборудование должны быть из материалов, обладающих хорошей электропроводностью.

Некоторые полагают, что низкая относительная влажность воздуха способствует взрывам пыли, так как опасность разряда статического электричества возрастает по мере снижения относительной влажности воздуха; низкая относительная влажность уменьшает влажность зерновой пыли, тем самым снижая температуру и необходимую энергию зажигания.

К механическим источникам зажигания относятся следующие.

Теплота, выделяющаяся при трении норийных и конвейерных лент. Пробуксовка на приводном барабане — один из наиболее часто встречающихся источников зажигания и важный фактор, способствующий взрывам зерновой пыли. Причиной пробуксовки могут быть, например, недостаточное натяжение ленты, изношенная или отсутствующая футеровка барабана, старая конвейерная лента с изношенной резиновой или полихлорвиниловой обкладкой и обнажившимся каркасом, блокировка ленты при перегрузке или завале конвейерной системы зерном.

Зона контакта конвейерной ленты с приводным барабаном, положение грузового натяжного устройства на большинстве конвейеров и метод привода гарантируют, что не будет пробуксовки при пуске или во время эксплуатации. Медленное движение вверх и вниз — метод, при котором приводной электродвигатель нории неоднократно включается и выключается с целью освобождения заклинившейся ленты, — необходимо исключить. Рекомендуется управлять движением ленты с помощью выключателя, реагирующего на скорость (датчик пробуксовки) и соединенного с приводным барабаном, таким образом обнаруживая любую заметную пробуксовку главного приводного барабана.

Другим потенциальным источником зажигания является несоосно расположенная норийная или конвейерная лента, смещающаяся и истирающаяся о различные ограждения и опорные элементы. Это может быть вызвано: смещением конвейерной ленты, неравномерным ее натяжением, неправильным питанием, которое смещает ленту в сторону, поврежденными ковшами (нория), заклинившимися роликкоопорами (ленточный конвейер), плохим соединением концов ленты, поврежденным подшипником приводного барабана и т.п.

Необходим соответствующий зазор для согласования движения конвейерной ленты.

Для устранения возможности смещения ленты можно устанавливать устройства для обнаружения сбегания конвейерной ленты, состоящие из двух пальцев с каждой стороны ленты и соединенные с конечным выключателем. При отклонении на расстояние, большее заранее установленного, являющегося соответствующим безопасным пределом, конвейерная лента соприкасается с пальцами и воздействует на выключатель, который останавливает данный конвейер и предшествующие конвейеры на этом пути зерна. Устройства для обнаружения сбегания ленты можно устанавливать в любом месте конвейера, где возможны аварийные ситуации, но обычным является место вблизи приводного барабана.

Перегрев и искрение в результате механического повреждения вращающегося оборудования также могут быть источником зажигания. Поврежденные ковши, зубчатые передачи, крыльчатки вентиляторов, муфты, цепные передачи и заклиненные барабаны (роликкоопоры) являются потенциальными источниками зажигания. Только хорошая конструкция, периодический контроль и

регулярное ремонтное обслуживание могут уменьшить эти опасности.

Посторонний материал, а именно камни и металлические примеси, обычно преобладающие в поступающем зерне, должны быть удалены как можно более полно. Камни и металлические предметы попадают на предприятия по хранению и переработке зерна главным образом с уборочных машин, вагонов, автомобилей, судов, технологического оборудования, транспортных систем, а также остаются после проведения ремонтных работ (болты и гайки). При контакте с металлическими или бетонными стенами силосов металлические предметы могут давать искру; большие куски материала могут вызывать заклинивание ленты или барабана в нориях. Для уменьшения этой опасности оборудование должно быть оснащено испытанными и самоочищающимися электромагнитными сепараторами.

Ряд условий может привести к перегреву подшипников. В конечном итоге все это является результатом плохого выбора и применения подшипников, их перегрузки или неравномерной нагрузки, отсутствия надлежащей смазки и соосности. На больших подшипниках могут устанавливаться устройства дистанционного контроля температуры или термодатчики; необходимо осуществлять периодический контроль вибрации.

Подшипники должны всегда устанавливаться на наружной стороне кожуха. Если их расположить внутри, то подшипники становятся недоступными для проверки и, вероятно, в них будет проникать много пыли. Очень важна правильная смазка: избыточная смазка может привести к нагреву. К применению автоматических систем смазки подшипников следует подходить очень осторожно. Они поощряют менее регулярную проверку и могут способствовать ложному ощущению безопасности. Слой пыли является теплоизолирующим и предотвращает выделение теплоты в окружающую среду. Приводной и холостой барабаны ленточного конвейера и сама рама конвейера часто окружены неподвижным слоем пыли таким образом, что трение вызывает выделение избыточной теплоты. Несмотря на наличие вентилятора, электродвигатели, покрытые слоем пыли, не могут отдавать теплоту в окружающую среду. С такими же трудностями сталкиваются при использовании компрессоров и подшипников, хотя у них имеются охлаждающие ребра. Такие опасности можно устранить только борьбой с выделением пыли и регулярным текущим уходом.

Пробуксовка клиновидных ремней на шкивах — частый источник зажигания. Отсутствие надлежащего натяжения, несоосность, недостаточный запас прочности клиновидных ремней, перегрузка, плохое качество, различие в качестве и длине одновременно используемых клиновидных ремней, пыль в канавках, размеры и форма канавок, которые не соответствуют применяемым клиновидным ремням, — все это может быть причинами пробуксовки. Когда клиноремные приводы должны использоваться в опасных зонах, то во избежание пробуксовки их необходимо содержать в сухом, чистом и свободном от пыли состоянии. Всякий раз, когда их можно избежать, клиноремные приводы не должны использоваться.

Завал, перегрев и искрение при ударе постороннего материала являются распространенным источником зажигания в молотковых дробилках и измельчителях. Сита с неочищенными отверстиями будут удерживать измельченный продукт и уменьшать количество воздуха, причем оба эти обстоятельства приводят к перегреву. Необходимо использовать надежные системы термодатчиков. Для удаления металлопримесей из материала, поступающего в молотковые дробилки, следует устанавливать эффективные магниты. Более мелкие примеси удаляют на очистительных машинах.

Зерносушилки и грануляторы требуют особого внимания в отношении их чистоты, проверки и профилактического обслуживания.

Обычно молотковые дробилки, измельчители, сушилки, грануляторы, очистительные машины, матерчатые фильтры, бункера для пыли и отходов должны быть отделены от основного силосного корпуса и друг от друга.

К другим источникам зажигания относят следующие:

Операции с открытым пламенем, а именно сварка и газовая резка, являются причинами многих несчастных случаев; методы, исключаяющие эту опасность, имеют большое значение.

Управляющим элеваторами, ремонтному персоналу и подрядчикам должны быть известны опасности огневых работ и меры, принимаемые при несчастных случаях. К основным мерам безопасности относятся удаление всех горючих материалов и пыли в непосредственной близости от места



проведения работ, наличие соответствующего оборудования для тушения пожара и смачивание полов. Должны дежурить работники пожарной охраны, обеспечивающие до и после окончания работ предотвращение пожара, который может возникнуть от искр или расплавленных капель металла. Зерновые компании осуществляют политику, направленную на запрещение или жесткое ограничение всех огневых работ на элеваторах.

Курение должно быть запрещено в зонах, где может быть горючая пыль. Правило «Не курить» должно твердо соблюдаться внутри здания элеватора и вокруг него. Посетителям, новым рабочим и служащим и бригадам подрядчиков особенно следует напоминать, что курение запрещено. Самосогревание — химическая реакция между хранящимся сырьем и воздухом. В результате этой реакции образуется тепловая энергия, и, если потери тепла не компенсируют его выделение, температура массы продукта может повышаться до самовозгорания продукта. Проблема осложняется наличием излишней влаги, активностью микроорганизмов и зараженностью насекомыми, что способствует химической реакции. Предохранительные меры заключаются в контроле температуры продукта при хранении. Анализ пожаров в силосах из-за самовозгорания должен проводиться особенно тщательно. В другом разделе будет рассмотрено использование инертного газа. Удар молнии представляет собой разряд статического электричества, накапливаемого в облаках, на землю. В момент этого разряда молния следует по пути наименьшего сопротивления. Сила тока такого разряда может достигать нескольких тысяч ампер, вызывая большое тепловыделение, что может способствовать возникновению пожара. Все сооружения элеватора, бетонные и металлические конструкции в соответствии с местными требованиями должны быть оборудованы эффективными молниеотводами.

К другим возможным источникам зажигания относятся: поджог, радиаторы парового отопления и газовые нагреватели, тепло и искры от дизельных автомобилей и локомотивов, искры при ударе металла о бетон или металла о металл, сапожные гвозди с большой шляпкой или металлические набойки на обуви, ударяющие по бетону, и трение цепного привода об ограждение или удары по нему.

### ***Методы защиты от взрывов.***

Если взрыв нельзя предотвратить, тогда, по крайней мере, следует свести к минимуму его разрушительные последствия. Хотя вероятность выделения пыли, которая приходит в контакт с источником зажигания, может быть снижена хорошей конструкцией и ремонтным обслуживанием, она не может быть уменьшена до нуля. Следовательно, должны быть предусмотрены меры защиты от взрывов. Имеется четыре распространенных метода борьбы со взрывами, а именно «сдерживание», взрыво-разряднение, введение инертного газа и автоматическое взрыво-подавление. Рассмотрим кратко каждый из этих методов.

1. Идея «сдерживания», или обеспечение сопротивления конструкции давлению, состоит в том, что оборудование должно быть достаточно прочным, чтобы противостоять максимальному давлению, создаваемому при взрыве, без разрушения или проявляющихся деформации или повреждений. Все воздухопроводы, связанные с оборудованием, должны отличаться прочностью конструкции. Для предотвращения распространения пламени от одного вида оборудования к другому используют быстродайствующие пневмоклапаны. Этот метод, по-видимому, является приемлемым только для систем небольших размеров и непрактичен для зданий элеваторов.

2. Взрыворазрядные устройства включают открытое отверстие или встроенную слабую секцию (разрывную предохранительную мембрану), которая в случае взрыва будет разрушаться при очень низком избыточном давлении и обеспечивать выход расширяющихся газов.

Защищаемая система (емкость) должна быть сконструирована так, чтобы она могла противостоять определенному незначительному давлению при взрыве. Эффективный сброс давления при взрыве в длинных воздухопроводах и емкостях возможен только в том случае, если подобные устройства устанавливаются по всей их длине, через короткие промежутки. В такой системе взрыв будет создавать сильный осевой поток, из-за чего вся площадь поперечного сечения должна использоваться для сброса давления. Если взрыворазрядители устанавливаются с боковой стороны, то при взрыве должна отбрасываться еще и верхняя крышка. Например, сильный взрыв, начавшийся в нижней части норрии, которая имеет только один взрыворазрядитель сверху, будет создавать давление,



достаточное для разрыва норийной трубы, по мере его перемещения по ней, задолго до того, как взрывная волна достигнет отверстия наверху. Применение системы сброса давления может привести к повышению давления вне оборудования, т. е. в помещении, где это оборудование расположено. Если взрыворазряжение из какого-то оборудования происходит в помещении, в котором скапливается пыль на горизонтальных поверхностях и полу, взрывная волна, создаваемая в результате взрыворазряжения (разрыва предохранительной мембраны), в сочетании с распространением пламени из защищаемого оборудования может привести к вторичному взрыву в здании с большими разрушениями, чем при первом взрыве. Следовательно, если системы взрыворазряжения установлены внутри зданий, то необходимо, чтобы к взрыворазрядному отверстию был подсоединен трубопровод, выходящий вне здания, с тем чтобы защитить персонал и рядом расположенное оборудование от пламени, продуктов сгорания и ударной волны. Размеры взрыворазрядных отверстий для сброса давления определяются объемом установки, максимально допустимым избыточным давлением, максимальной степенью повышения давления в воздуховоде и разрывным давлением предохранительной мембраны. Зная все эти факторы, можно рассчитать размеры отверстия.

Ниже излагаются некоторые рекомендации по конструкции взрыворазрядных устройств:

- взрыворазрядные трубопроводы, выходящие наружу, должны быть усилены и, по крайней мере, равнопрочны с теми элементами конструкции, которые используются для вентилирования оборудования;
- взрыворазрядные трубопроводы должны быть по возможности короче, и их повороты не должны иметь угол более 22 °;
- взрыворазрядные трубопроводы должны быть направлены так, чтобы они не причиняли персоналу повреждений в результате истечения из них продуктов взрыва;
- на концах взрыворазрядных трубопроводов необходимо устанавливать сетки, препятствующие проникновению птиц, и предусматривать защиту от атмосферных осадков;
- нории и закрытые конвейеры следует защищать установкой взрыворазрядителей по всей длине; в качестве обычного правила принято, что площадь проходного сечения каждого взрыворазрядителя должна быть равна площади поперечного сечения норийной трубы или конвейера (можно применять большее число взрыворазрядителей меньшего размера, распределенных равномерно и имеющих такое же общее проходное сечение);
- взрыворазряжение на силосах необходимо предусматривать в их верхних частях; площадь взрыворазрядного отверстия должна быть не меньше половины площади верхней части силоса, но предпочтительно больше этой величины. (Подземные конвейеры представляют особую проблему; если их взрывозащита не обеспечена, то давление взрыва может быть достаточным для разрушения находящихся сверху силосов.);
- матерчатые фильтры необходимо оснащать взрыворазрядителями и устанавливать снаружи здания.

3. Третий метод включает замену части кислорода воздуха инертным газом (инертизация), в результате чего получается атмосфера, содержащая слишком мало кислорода для поддержания процессов горения (распространения пламени). Необязательно полностью устранять кислород. Обычно пыль органического происхождения уже неспособна образовывать взрывоопасную смесь, если концентрация кислорода в пылевоздушной смеси менее 8%. Максимально допустимое содержание кислорода зависит от характера горючего материала и должно определяться экспериментально в каждом конкретном случае.

Инертизация взрывоопасной смеси пыли с воздухом может быть достигнута добавлением одного из следующих инертных газов, или ингибиторов: азот, диоксид углерода и производные галогенов. Наиболее часто используют азот и диоксид углерода. Некоторые огнетушащие порошки, подобно фосфату аммония, карбонату натрия и калия, имеют значительно более высокое инертизирующее воздействие на горючие смеси пыли и воздуха, чем инертные газы, если они равномерно смешаны с пылью во всем объеме помещения, которое должно быть защищено.

По-видимому, этот эффективный метод защиты для предприятий по хранению и переработке зерна едва ли пригоден из-за их больших объемов и необходимости постоянного контроля состава газа в различных точках. Возможно, должна быть спроектирована система, в которой инертная атмосфера может рециркулировать с минимальной потерей при прохождении через два наиболее уязвимых для



взрывов устройства, а именно норию и фильтры.

4. Автоматическое подавление взрыва — заключается в быстром подводе инертного агента для тушения фронта пламени после получения сигнала об избыточном давлении от датчика давления. При загорании пылевоздушной смеси пламя первоначально перемещается относительно медленно, и первое повышение давления можно обнаружить быстро, таким образом может быть включена система подачи огнетушащего вещества; это подавляет взрыв до того, как он достигнет своей полной силы и повысит давление до опасного уровня. Обнаружение и подавление осуществляются в течение тысячных долей секунды.

Имеются промышленные системы, и они могут быть приемлемыми и эффективными, по крайней мере, для некоторых видов оборудования предприятий, например для норий.

В качестве средства для подавления взрыва часто используют газы — производные галогенов, хотя, если система с таким газом сработает слишком поздно, т. е. когда взрыв уже в определенной степени распространился, это вещество может увеличить силу взрыва и способствовать повышению давления.

Разработаны другие системы подавления взрыва, использующие огнетушащий порошок на основе фосфата аммония, хранящийся в стальных баллонах и под давлением азота. Распределение огнетушащего порошка по всему защищаемому замкнутому объему осуществляется специальными соплами.

Количество такого вещества, т. е. число взрывоподавителей, требующихся для эффективного подавления взрыва в замкнутом объеме, не находится в пропорциональной зависимости от защищаемого объема, однако оно должно быть рассчитано специалистами. Применительно к нории защита состоит из устройства для обнаружения повышения давления и взрывоподавителей с высокой скоростью подачи огнетушащего порошка, размещенных в различных точках, а именно в башмаке и самотеке, направляющем поток продукта в башмак, по высоте норийных труб; в головке и самотеке, по которому направляется разгружаемый из нории продукт, и с целью предотвращения распространения пламени в другие зоны — в аспирационных линиях, где проходит пыль, обычно направленных от головки и башмака нории к фильтру. Система такого типа оказалась эффективной для подавления загораний в выпускных воронках матерчатых фильтров.

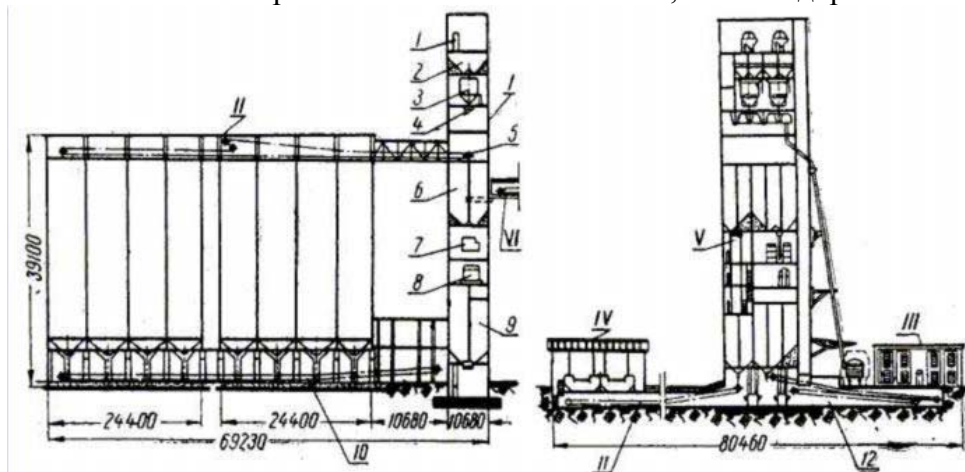
В России функционируют около 8 тысяч взрывопожароопасных объектов. Большинство техногенных чрезвычайных ситуаций (до 80%) обусловлено пожарами в зданиях жилого, социально-бытового и культурного назначения. Обеспечение безопасности персонала предприятия, населения и окружающей среды остается актуальным, особенно в области пожарной безопасности.

Существенную угрозу для населения и природной среды представляют пожаровзрывоопасные зерноперерабатывающие и хлебоприемные объекты. Статистические данные по пылевым взрывам, возникающим на предприятиях по хранению и переработке зерна, свидетельствуют, что на комбикормовых заводах происходит 36 % взрывов, элеваторах — 27 %, мукомольных заводах — 20%, складах комбикормового сырья — 17%. Пожары и взрывы причиняют значительный материальный ущерб, а некоторые из них приводят к тяжелому травмированию и гибели людей. Многие производственные процессы предприятий хлебопродуктов пожароопасны, что требует повышенного внимания к этой проблеме. На хлебоприемных и зерно-перерабатывающих объектах при производстве муки, крупы, комбикормов, подработке, сушке, хранении и транспортировании зерна и других продуктов выделяется значительное количество органической пыли, способной при определенных условиях образовывать в смеси с воздухом взрывоопасную среду. Эти обстоятельства обуславливают повышенные требования по обеспечению пожаровзрывобезопасности этих предприятий. Пожарная безопасность предусматривает такое состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей. Для правильной организации противопожарных мероприятий и тушения пожаров необходимо понимать сущность физических и химических процессов, которые происходят при горении. Рассмотрение теоретических основ, условий образования и развития взрывов пылевоздушных смесей, закономерностей возникновения пожаров и взрывов, способов и приемов защиты от них, разработка технических решений по предупреждению пожаров и взрывов на зерноперерабатывающих и хлебоприемных предприятиях представляется актуальной задачей.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА.

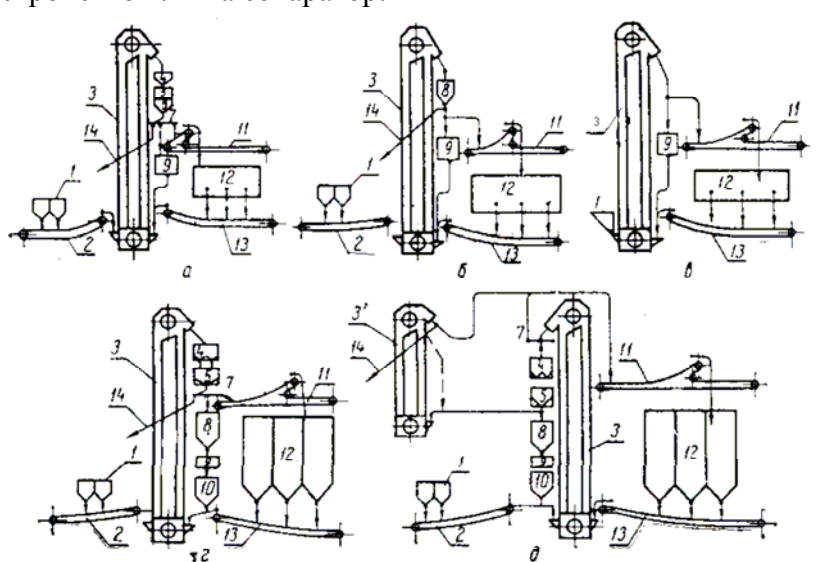
### *Характеристика технологического процесса на элеваторах*

Производство зерна – основная отрасль сельскохозяйственного производства большинства стран мира. Предприятия хлебопродуктов являются объектами повышенной опасности. На всех этапах производственных процессов приема, обработки, сушки, хранения, транспортирования и переработки зерна возможно образование взрывопожароопасных пылевоздушных смесей. Пожары и взрывы смесей приводят к гибели людей и материальным потерям. Ежегодно в мире на зерноперерабатывающих объектах происходит 400-500 взрывов. За последних 20 лет в РФ произошло 195 взрывов. Ситуация с обеспечением взрывопожаробезопасности на предприятиях хлебопродуктов (элеваторах, зерноперерабатывающих заводах) с каждым годом ухудшается. Владельцы предприятий неохотно идут на затраты по устранению причин возникновения пожаров. Сезонность производства зерна заставляет создавать и хранить его запасы для удовлетворения текущих потребностей населения, нужд животноводства и создания семенного фонда. Наличие запасов зерна позволяет наиболее благоприятно использовать конъюнктуру рынка. Запасы хранятся в основном в элеваторах, суммарная емкость которых составляет 50-200 тыс. т и более. Хранение таких объемов зерна требует жесткого контроля, т.к. при разрушении элеваторов (взрыв, пожар, потеря пространственной жесткости) будет нанесен огромный удар по экономике и продовольственной безопасности страны. В соответствии с этим предприятия отрасли хлебопродуктов обязаны представлять Декларацию безопасности объекта. Она является документом, в котором отражены характер и масштабы опасности и мероприятия по обеспечению безопасности и готовности к действиям при чрезвычайных ситуациях. Элеватор – наиболее совершенный тип зернохранилищ. Он обеспечивает комплексную механизацию и автоматизацию производственных процессов, создает условия для сохранности и улучшения качества зерна. Он включает (рис. 1) рабочую башню, силосные корпуса, приемные и отпускные устройства. В рабочей башне размещаются нории, весы, зерноочистительные машины, самотечное и аспирационное оборудование, приводные и натяжные станции транспортеров элеватора: приемных, отпускных, надсилосных, подсилосных. Рабочая башня представляет собой центр, с которым связаны все сооружения элеватора. Силосный корпус должен обеспечить количественную и качественную сохранность зерна. Приемные и отпускные устройства предназначены для внешних операций, которые в зависимости от назначения элеватора связаны с автомобильным, железнодорожным и водным транспортом.



**Рис. 1. Основные сооружения элеватора: I – рабочая башня, II – силосный корпус, III – приемное устройство с железнодорожного транспорта, IV – приемное устройство с автомобильного транспорта, V – зерносушилка, VI – галерея отпуска на мельницу; 1 – нории, 2 – навесовой бункер, 3 – ковшовые весы, 4 – распределительные трубы, 5 – надсилосные транспортеры, 6 – надсепараторные бункера, 7 – сепаратор, 8 – контрольный сепаратор, 9 – подсепараторный бункер, 10 – подсилосный транспортер, 11 – приемный транспортер с автомобильного транспорта, 12 – приемные транспортеры с железнодорожного транспорта**

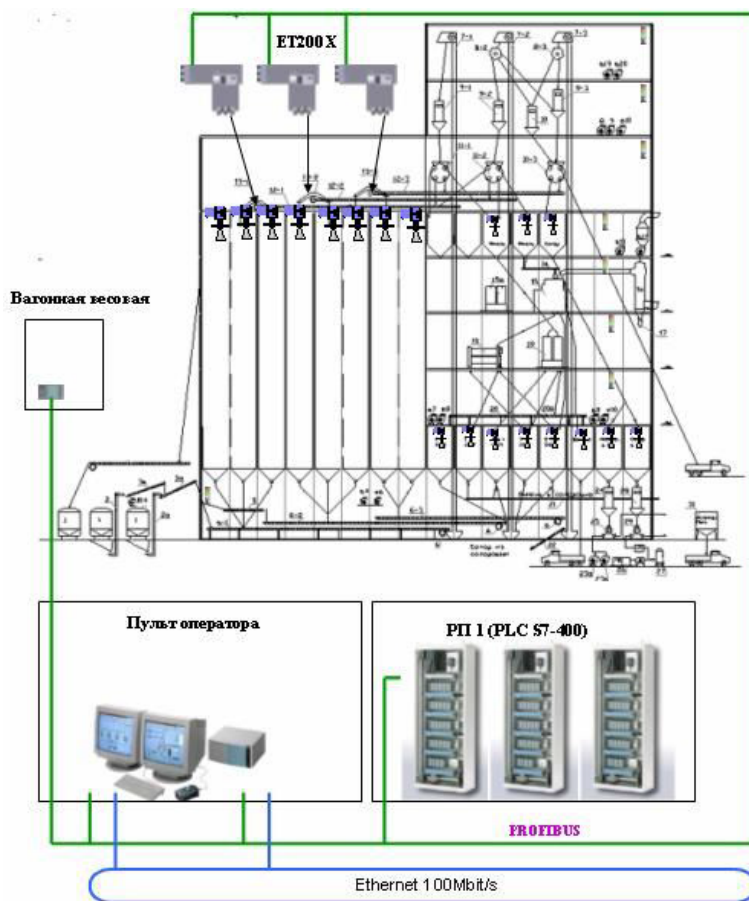
Важная часть элеватора – зерносушильное отделение, которое может быть расположено в отдельном здании, рабочей башне, силосном корпусе или пристроено к корпусу либо башне. Зерносушилки предназначены для снижения влажности зерна до величины, обеспечивающей длительность его сохранности. Зерносушилка состоит из сушильных и охладительных камер с оперативными бункерами и выпускными устройствами; топки, с оборудованием для подачи топлива, воздуха и сжигания топлива; вентиляционной системы, включающей вентиляторы, воздухопроводы, подводящие и отводящие устройства; подъемно-транспортное оборудования; аппараты автоматического контроля и управления механизмами зерносушильного агрегата (рис. 2, 3). Зерно поступает в приемный бункер. Затем с помощью приемного (ленточного) транспортера направляется на норию. Нория – транспортирующая машина для подъема сыпучих и кусковых грузов по вертикали. Тяговым органом нории является лента, которая огибает верхний и нижний барабаны. Рабочими органами служат ковши, соединенные с лентой болтами. Нижний барабан помещен в башмаке, а верхний – в головке нории. Каждая ветвь ленты (рабочая и холостая) с ковшами расположена в трубе, соединяющей башмак и головку. С головки нории зерно высыпается в надвесовой бункер, затем поступает на весы, на которых производится количественный учет зерна. Зерновая масса после взвешивания через распределительную трубу поступает на отпускное устройство или на сепаратор.



**Рис. 2. Принципиальная схема зернохранилища: а – с весами без сепараторных бункеров, б – баз весов с бункерами над зерноочистительными машинами, в – без весов и сепараторных бункеров, г – с весами и сепараторными бункерами, д – с весами, сепараторными бункерами и двухступенчатым подъемом зерна; 1 – приемные бункеры, 2 – приемный транспортер, 3 – нория, 3' – нория дополнительного подъема, 4 – надвесовой бункер, 5 – весы (ковшовые или порционные), 6 – подвесовой бункер, 7 – распределительная труба, 8 – надсепараторный бункер, 9 – сепаратор, 10 – подсепараторный бункер, 11 – надсилосный транспортер, 12 – склад или силосы для хранения зерна, 13 – подсилосный транспортер, 14 – отпускное устройство.**

Сепаратор – зерноочистительная машина. Его устанавливают на всех технологических линиях для обработки зерна. Фактически это сито. Машина работает в такой последовательности: зерно из бункера регулируемым потоком поступает в приемную камеру, где шнек разравнивает его по всей ширине. Преодолевая сопротивление клапана, зерно равномерным слоем проходит в аспирационный канал первой продувки. Здесь из него выделяются легкие примеси, которые уносятся воздушным потоком в переднюю осадочную камеру и выводятся шнеком из машины. Из канала первой продувки зерно попадает на приемное сито. С него удаляется крупный сор. Проходя через приемное сито, зерно двумя параллельными потоками поступает на сортировочные сита верхнего и нижнего кузовов. С них сходом идут примеси, крупнее зерна. Затем зерно вместе с мелкими примесями поступает в подсевные сита, с них получается очищенное зерно. Оно поступает в аспирационный канал, где его





вторично продувает воздушный поток.

**Рис. 3. Схема технологического процесса на элеваторе**

Легкие примеси по трубе уносятся в осадочную камеру. Если зерно очищено ранее, то оно поступает непосредственно в силосы для хранения зерна. После сепаратора, через норию и весы, зерно поступает в силос. Силосы предназначены для защиты зерна от осадков, изменений температуры и вредителей хлебных запасов. Силосный корпус состоит из трех частей: собственно силоса, в котором хранится зерно, надсилосной галереи с транспортерами для загрузки силосов и подсилосной галереи с транспортерами для разгрузки силосов. При хранении зерна в силосе зерно активно вентилируется. Применяются три типа установок вентилирования: стационарные; напольно-переносные и переносные трубные. При отпуске зерна оно через подсилосный транспортер поступает в башмак норрии, затем через бункер и весы загружается на отпускное устройство. Технология мукомольного производства состоит из операций: передача зерна из элеваторов в зерноочистительное отделение и подготовка к помолу, выработка крупы и размола зерна, передача готовой продукции на склад, складирование продукции и отходов производства, отпуск их потребителям. Для управления механизмами на каждом пульте местного управления (ПМУ) предусмотрено использование кнопок «Пуск» и «Стоп». Индикация состояния оборудования осуществляется светосигнальной аппаратурой зелёного (включено) и красного (отключено) цветов. Управление устройствами в автоматическом режиме осуществляется промежуточными реле, установленными в шкафах ПМУ. Выбор режима работы механизмов: местного и автоматического осуществляется пакетным переключателем. Это предотвращает ошибочное включение или отключение устройства, находящегося в автоматическом режиме от кнопок ручного управления, а в местном режиме препятствует выполнению ошибочных команд выдаваемых оператором через контроллер. Для предотвращения аварийных ситуаций на башмаках норрий через 10 м на конвейерах установлены кнопочные посты аварийного отключения оборудования. Сигналы с постов введены в систему АСУ ТП для контроля их срабатывания и предотвращения завалов на маршрутах. Система автоматизации позволяет осуществлять оперативный сбор и обработку данных о состоянии оборудования, механизмов, датчиков и т.д., обеспечивает непрерывное диагностирование и обнаружение аварий и отклонений от технологического процесса с выдачей предупреждений оператору через панель оператора или

персональный компьютер, а техническому персоналу через звуковую сигнализацию [2]. Система позволяет предотвратить нежелательные последствия остановки маршрутов и блокировки оборудования. Применение аналоговых сигналов в системе контроля конвейеров и норий позволяет контролеру судить о степени загруженности отдельных узлов и предпринимать действия предотвращающие возникновение перегрузки двигателей и выход приводов из строя. Датчики контроля подпора предотвращают выход из строя электродвигателя нории при возникновении завала. Датчики контроля ленты срабатывают при сбегании ленты нории с приводных барабанов и предотвращают разрушение контролируемого механизма. На исполнительные механизмы перекидных клапанов и задвижек установлены бесконтактные выключатели, отключающие устройства при достижении задвижкой или клапаном конечного положения. Контроль работы аспирационных систем, осуществляется датчиками РКС. Они позволяют параметризовать условия их срабатывания в широких пределах при отклонении параметров аспирационной системы от заданных значений. Система автоматизации позволяет контролировать наличие зерна в промежуточных бункерах и силосах. На силос и промежуточный бункер установлены датчики верхнего и нижнего уровня, сигнализирующие о заполнении или полной разгрузке указанных емкостей. Использование AS-интерфейса для подключения оборудования подсилосного этажа и приёмного отделения с железнодорожного транспорта уменьшает длину кабеля, упрощает схемы подключения электроприводов механизмов, позволяет обойтись без клеммных коробок и производить подключение датчиков в пультах местного управления. АСУ ТП производит контроль состояния датчиков взрыва, расположенных в головках норий, и положения быстродействующих задвижек. При срабатывании системы локализации взрыва система управления способна самостоятельно предпринимать действия по остановке технологического оборудования, в последовательности, необходимой для минимизации возможного ущерба.

**Анализ пожаровзрывобезопасности на предприятиях хранения и переработки зерна** Причиной пожара или взрыва в помещении (цехе) является наличие горючей пыли и волокон. Большое количество пыли создают машины и агрегаты с механизмами ударного действия (дробилки, мельницы и т.п.), а также установки, работа которых сопряжена с использованием мощных воздушных потоков (пневмосистемы, сепараторы и т.п.) или перебросом измельченной продукции (места загрузки, пересыпания и т. д.). Некоторые пыли способны к самовозгоранию. Местная вспышка может вызвать взвихрение осевшей пыли, что в свою очередь способно привести к повторному взрыву большей мощности. Возможность возникновения пожаров и взрывов определяется показателями пожаровзрывоопасности веществ. Горючие вещества могут находиться в трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком и твердом. При определении параметров пожаровзрывоопасности веществ считаются: газами вещества, абсолютное давление паров которых при температуре 50 °С равно или выше 300 кПа; жидкостями – вещества с температурой плавления не более 50 °С; твердыми веществами – вещества с температурой плавления, превышающей 50°С; пылями – диспергированные (размельченные) твердые вещества с размером частиц менее 850 мкм. Пожаровзрывоопасность веществ, т.е. сравнительная вероятность их горения в равных условиях, определяется рядом их свойств: группой горючести, температурой самовоспламенения и вспышки, концентрационными пределами воспламенения, дисперсностью, летучестью и др. (табл. 1-4).

**Таблица 1**  
**Группы горючести веществ**

Разряд	Температура вспышки, °С	
	в закрытом тигле	в открытом тигле
Особо опасные	$t \leq -18$	$t \leq -13$
Постоянно опасные	$23 \geq t > -18$	$27 \geq t > -13$
Опасные при повышенной Т.	$23 < t \leq 61$	$27 < t \leq 66$

Таблица 2

**Фактическая и нормативная концентрация**

Измеряемый параметр	Фактическое значение, мг/м <sup>3</sup>	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Средства измерения и методика
Пыль растительного и животного происхождения: зерновая. Вещества аллергического, фиброгенного действия Класс опасности -3	8.195	4	Таб.- 1 Пр.- 1.1.3 Таб.- 1.1.2 Мет.-МУ 4436-87

Таблица 3

**Пределы температуры сушки и нагрева зерна в рециркуляционных сушилках с нагревом в камерах с падающим слоем**

Культура	Начальная влажность зерна, %	Предельная температура, °С	
		нагрева зерна	агента сушки в камере
Пшеница продовольственная: С крепкой клейковиной (до 40 ед. ИДК) С хорошей клейковиной (от 45 ед. ИДК) Со слабой клейковиной (более 80 ед. ИДК)	До 20	50	300
	Свыше 20	45	250
	До 20	60	350
	Свыше 20	55	330
	До 20	65	370
	Свыше 20	60	350
Пшеница твердая и ценных сортов	До 20	55	330
	Свыше 20	50	300

Температура взрыва большинства газов составляет 1200-2700 К, давление при взрыве не превышает 1,2 МПа. При увеличении содержания кислорода смеси (больше 21%) давление увеличивается и может достигнуть 2,0 МПа .

Таблица 4

**Пыль растительного и животного происхождения: зерновая /среднесменная ПДКУ**

Концентрация вещества, мг/м <sup>3</sup>	Норма, мг/м <sup>3</sup>	Длительность операции (этапа) производственного процесса, ч
Наименование операции (этапа) производственного процесса - Транспортёр		
13,25	4	4
Наименование операции (этапа) производственного процесса - Пульт		
3,14	4	4

Выделяются также другие показатели пожаровзрывоопасности веществ: температура тления, кислородный индекс, скорость выгорания, коэффициент дымообразования, индекс распространения пламени, характер взаимодействия горящего вещества со средствами водопенного тушения, чувствительность к удару и т.п. В работе выявлены причины возникновения пожаров на элеваторах 1) непогашенные окурки и спички (температура очага горения табака в окурке достигает 700 °С и может привести к воспламенению многих горючих веществ, в т.ч. и скопившейся на полу помещений



мучнистой пыли); 2) открытый огонь (паяльные лампы, горелки, места сжигания отходов, топки зерносушилок и т.п.) и возникающий при электрогазосварочных работах; 3) нагрев подшипников при износе, неисправности, перегрузке; 4) действие электрического тока (пожарная опасность связана с его тепловым проявлением, которое возникает при коротком замыкании, перегрузке электроустановки, плохом контакте в местах соединений и т.д.); 5) искры, вызванные электрическим разрядом, образующиеся при трении, ударе (температура электрического разряда достигает 10000 °С; искры от трения, удара – около 1600 °С, их энергии достаточно для воспламенения горючего вещества, температура искры тем выше, чем сильнее сила трения, удара); 6) окислительные процессы органических веществ (влажные опилки, зерно, травяная мука, семена масличных культур).

## УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ВЗРЫВОВ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

### *Образование пылевоздушных смесей*

Пылевой взрыв – неконтролируемый процесс взрывного горения. Воспламенение, горение и взрыв пылевоздушных смесей представляют собой комплекс взаимосвязанных физико-химических процессов. Горение сопровождается выделением тепла, появлением пламени и образованием газообразных продуктов сгорания. Скорость распространения пламени не превышает скорости звука. Если при горении пылевоздушной смеси с дозвуковой скоростью распространения пламени образуются сжатые газы, способные совершать механическую работу, то такое горение называется взрывным. Горение аэрозоли органической пыли, являющееся основой взрыва, происходит следующим образом. При воспламенении аэрозоли пылинки, находящиеся вблизи источника воспламенения, нагреваются до температуры распада, происходит их газификация. Образовавшиеся продукты газификации, нагреваясь до температуры воспламенения, сгорают, тепло в результате излучения, теплопроводности и конвекции из зоны воспламенения передается прилегающим к ней негорящим частицам, которые, воспламеняясь, становятся источниками возгорания последующих слоев смеси. Так возникают условия для развития цепного, лавинообразного процесса горения пылевоздушной смеси. Воспламенение и взрывное горение пылевоздушной смеси возможны только при определенной дисперсности пыли, в соответствующем диапазоне ее концентрации, при достаточной энергии источника зажигания. Если концентрация пыли ниже нижнего предела воспламенения, то даже при наличии источника воспламенения самораспространяющийся устойчивый процесс горения смеси не возникает. Пламя из зоны контакта с источником зажигания не может распространиться по всему ее объему из-за большого расстояния между частицами. При концентрации выше верхнего предела воспламенения пылевоздушная смесь не загорается, вследствие большого количества частиц, не хватает кислорода, необходимого для поддержания и развития окислительных процессов.

Условия для взрыва пылевоздушной смеси возникают при концентрации пыли между нижним и верхним пределами воспламенения. Максимальное давление взрыва аэрозоли достигается при оптимальном соотношении горючей пыли и кислорода (окислителя), характерном для каждого вида пыли. При горении аэрозоля в замкнутом объеме взрывное давление достигает максимального уровня. Если взрывное горение аэрозоля происходит в полужамкнутом объеме, то давление будет зависеть от величины вскрытых сечений, через которые происходит истечение газообразных продуктов взрыва. В обоих случаях давление взрыва может стать значительным и привести к разрушению аппарата или сооружения, в объеме которого произошел взрыв. Влажность и зольность пыли, инертные добавки снижают ее взрывоопасность, повышается нижний предел воспламенения, уменьшается максимальное давление взрыва и скорость его нарастания. Снижение влажности увеличивает взрывоопасность пыли. Наиболее опасны пыли, влажность которых менее 11 %. При влажности более 18 % трудно получить устойчивое горение пылевоздушной смеси. Снижение взрывоопасности мучной и зерновой пыли происходит при зольности продукта более 10 %. Наличие в пыли инертных добавок более 70 % делают аэрозоль практически невзрывоопасной (*табл. 5*). На динамику возникновения и развития пылевого взрыва влияет источник воспламенения. Увеличение мощности и температуры источника, площади его воспламеняющей поверхности вызывает воспламенение аэрозоля при более низком

концентрационном пределе воспламенения, возрастает скорость распространения пламени в объеме смеси. Установлено, сахарная пыль скорее взорвется от накаливаемого до температуры 1200 °С тела (концентрация 10,3 г/м<sup>3</sup>), чем от искры индукционной катушки 6,5 В, 3 А (концентрация 34,4 г/м<sup>3</sup>).

Таблица 5

**Показатели взрывоопасности пылей, готовой продукции и сырья**

Вид пыли, сырья	Место отбора пробы	Влажность, %	Зольность, %	Температура самовоспл., °С	Концентрационный предел воспламенения, г/м <sup>3</sup>	
					Нижний	Верхний
Пшеница	Аспирационная система	6,2	22,3	715	12,6	15
	Оборудование	5-7	25-50	700	10-35	45
Рожь	Аспирационная система	5,7	14,1	761	20,2	24
	Оборудование	6,2	16,1	789	55,4	60
Смеси культур	Аспирационная система	6,25	50,6	816	27,7	32
	Оборудование	8,0	19,2	780	30,2	36

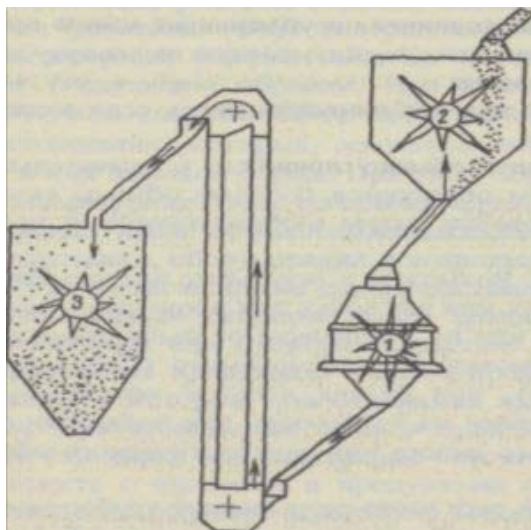
При обработке зерна в элеваторе и трении его о стенки самотечных труб, бункеров, воздействия рабочих органов машин и взаимного трения зерен происходит истирание и образование органической пыли. Во внутренних объемах норий, сепараторов и силосов при движении зерна образуется пылевоздушная смесь, концентрация которой часто находится во взрывоопасных пределах. Содержание пыли в рабочей зоне машин колеблется в широких пределах: в обоечной машине 1-49, вальцовых станках – от 10 до 258 г/м<sup>3</sup>. Оборудование по условиям образования пылевоздушной смеси можно разделить на группы. Первая – оборудование, в котором образование пылевоздушных смесей обусловлено технологией и исключить их образование невозможно. Вторая – вальцовые станки, дробилки, обоечные машины, рассевы. Образование пылевоздушных смесей в них является побочным явлением, ненужным для данной стадии технологического процесса. Образующаяся в технологическом оборудовании пылевоздушная смесь при недостаточной герметизации и неэффективной работе аспирационных систем проникает в производственные помещения. Пыль, содержащаяся в воздухе, оседает на стенах, полах, оборудовании и строительных конструкциях, образуя легко взвешиваемый аэрогель. Опасность его состоит в том, что от порыва ветра, сотрясения аэрогель поднимается в воздух, создавая в локальном объеме взрывоопасную пылевоздушную смесь. Россыпи пыли являются также источником образования взрывоопасной пылевоздушной смеси в помещении, особенно при локальных вспышках аэрогеля. Проследим опасность отложения пыли в помещении. На рассевном этаже мукомольного завода размером 18х36х4,7 = 3045 м<sup>3</sup>, площадь поверхности стен, пола, потолка и оборудования – 2127 м<sup>2</sup>. Для образования пылевоздушной смеси взрывоопасной концентрации (20 г/м<sup>3</sup>) во всем объеме нужно иметь 3045х20 = 60900 г пыли. При плотности пыли 100 кг/м<sup>3</sup> и взвешивании 50 % аэрогеля, достаточно отложения слоя пыли на поверхностях толщиной 0,6 мм, чтобы создать взрывоопасную концентрацию в помещении рассевов при поднятии пыли порывом ветра или взрывом в оборудовании.

### **Развитие взрыва пылевоздушной смеси**

Факторами, способствующими развитию и распространению первоначального взрыва к серии взрывов пылевоздушной смеси, являются: повышенная запыленность помещений; наличие связи между отдельными технологическими аппаратами, помещениями и зданиями; присутствие мелкодисперсного продукта в магистралях. Пылевоздушная смесь взрывоопасной концентрации, образовавшаяся в силосе или бункере, приводит к взрыву при: обрушении свода, разгрузке и очистке силоса (бункера), наличии в нем источника воспламенения (очаг самовозгорания, тлеющий продукт, искры и т.д.);

воспламенении пылевоздушной смеси пламенем взрыва, произошедшего в оборудовании, соединенном с этим силосом; сдуве пыли со стенок струей продуктов горения, воздушной волной от взрыва, произошедшего вне силоса, в норрии, самотечной трубе, аспирационном трубопроводе, в соседнем бункере, и последующем воспламенении пылевоздушной смеси подошедшим фронтом пламени; Взрыв в системе аспирации возможен в случае воспламенения отложений пыли в трубопроводах, циклонах при проведении сварочных работ на не остановленном или не очищенном от пыли оборудовании, трении лопаток вентилятора о корпус, попадании продуктов взрыва из аспирируемого оборудования.

Воспламенение пылевоздушной смеси возможно в дробилке, вальцовом станке при попадании в них металлического предмета, его заклинивании и искрообразовании; вальцовом станке – при перекосе размольных вальцов; норриях и цепных конвейерах – при трении буксующей ленты о барабан или цепи о корпус; дробилке – при работе вхолостую, отсутствии продукта в наддробильном бункере и т.д. В случае полной нагрузки в свободном объеме дробилки концентрация горючего выше верхнего концентрированного предела воспламенения. При взрыве в ней на холостом режиме продукты горения проходят по самотечным трубам, бункерам и т.п., вызывая повторные взрывы (рис.4). Взрыв в помещении происходит вследствие развития первичного взрыва внутри оборудования и наличия отложений пыли на нем и строительных конструкциях. Взрыв распространяется через монтажные проемы и междуэтажные перекрытия. Газовоздушная волна и пламя, попадая в смежные помещения, взвешивают отложения пыли с последующим ее воспламенением. Процесс может сопровождаться интенсивным выбросом пламени из здания.



**Рис. 4. Схема распространения взрыва при воспламенении пылевоздушной смеси в дробилке: 1, 2, 3 – последовательность взрывов**

Анализ причин аварий пылевоздушных взрывов позволил определить следующие пути распространения взрыва на элеваторах [7]:

- 1) лестничные клетки, шахты лифта и вентиляционные шахты;
- 2) силосы, норрии, конвейеры, самотечные трубы, воздухопроводы аспирации, пневмотранспорта и воздушного отопления, пылевые шахты аспирации;
- 3) вентиляционные и перепускные отверстия между силосами;



- 4) отверстия в перекрытиях, перегородках, дверных и монтажных проемах;
- 5) открытые люки силосов, лючки самотечных труб, норий;
- 6) транспортные галереи приема с железнодорожного и автомобильного транспорта, а также галереи, соединяющие отдельные здания и др.

При взрыве разрушаются строительные конструкции. Степень разрушения зависит от наличия легкосбрасываемых конструкций, их площади, приходящейся на единицу объема. При их отсутствии возможно полное разрушение стен и перекрытий зданий. Зарегистрированы случаи, когда воздушная волна, образовавшаяся при взрыве, повредила стекла в окнах зданий, расположенных в радиусе 200 м.

### **ПОСЛЕДСТВИЯ ПЫЛЕВЫХ ВЗРЫВОВ**

Установлено распределение пылевых взрывов на предприятиях по хранению и переработке зерна по типам производств: комбикормовые заводы – 36%,

элеваторы – 27%, мукомольные заводы – 20%, склады комбикормового сырья – 17%. Вероятность возникновения взрывов определяется количеством обрабатываемого мелкодисперсного продукта; показателями его пожаровзрывоопасности; особенностями технологии и оснащения объектов производственным оборудованием; объемом и эффективностью мероприятий по взрывозащите.

Распределение пылевых взрывов по тяжести последствий показывает, что наиболее значительные разрушения имеют место на элеваторах и мукомольных заводах старой постройки, т.к. практически мер взрывозащиты на этих объектах не предусматривалось.

При взрыве пылевоздушной смеси в замкнутом пространстве давление повышается до разрушающего уровня. При разрушении сооружения возникает ударная воздушная волна.

Поражающее действие ее определяется избыточным давлением, временем действия и скоростью движения. Поражение людей различной степени происходит от прямого воздействия ударной волны и косвенного – от летящих обломков, камней, осколков стекла и т.п. Характер и степень поражения людей зависят от их защищенности. При избыточном давлении травмы и контузии людей могут быть тяжелыми – при давлении 60-100, средними – 40-60 и легкими – 20-40 кПа. Тяжелые травмы выражаются контузией, потерей сознания и сложными переломами костей, средние – вывихами конечностей, контузией головного мозга, повреждением органов слуха, легкие – проходящими функциональными нарушениями. Избыточное давление, не превышающее 10 кПа, считается безопасным. Однако косвенные поражения за счет летящих камней и стекла могут наблюдаться при избыточном давлении 0,5 кПа. Температура продуктов горения превышает 1000 °С. Воздействие пламени горящего аэрозоля может вызвать воспламенение элементов строительных конструкций производственных зданий и сооружений, сырья и готовой продукции и привести к ожогам людей. При горении пластмасс и синтетических материалов образуются химически опасные вещества. Чаще всего возникают отравления оксидом углерода. К поражающим факторам пожаров относятся также задымление и морально-психологический эффект.

Профилактика пожаров в зданиях и на территории объектов обеспечивается: выбором степени огнестойкости и пределов огнестойкости элементов и конструкций; ограничением распространения огня; применением систем противодымной защиты; использованием средств пожарной сигнализации и пожаротушения; безопасной эвакуацией людей; организацией пожарной охраны.

Противопожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий по предупреждению, локализации и ликвидации пожаров и обеспечению безопасной эвакуации людей и материальных ценностей. Существенное значение для проведения противопожарных мероприятий имеет генеральная планировка территории предприятий. На территории объекта должны быть основные и вспомогательные дороги, позволяющие обеспечить свободный подъезд к объектам.

Нормами установлена ширина проезда основной (6 м) и вспомогательной (4 м) дорог. Для противопожарной профилактики здания и сооружения оборудуют молниезащитными устройствами. Большую опасность представляют системы отопления помещений. Предприятия должны быть оборудованы системой центрального водяного, парового или калориферного отопления.

Противопожарные нормы при устройстве отопления предусматривают защиту стен и перегородок в местах примыкания к ним печей и дымоходов негорючими теплоизоляционными материалами, применение качественного кирпича, устройство надежных фундаментов и др.

## ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

### ***Противопожарная безопасность территории элеватора***

Расположение предприятий хлебопродуктов по отношению к жилым массивам с учетом создания санитарно-защитной зоны одновременно удовлетворяют и противопожарным требованиям. При делении территории на зоны выделяют здания и сооружения основного и вспомогательного назначения, склады, здания административного, хозяйственного и обслуживающего назначения. Предусматриваются зоны: предзаводская, в которой размещаются здания непромышленного характера (административные, культурно-бытовые, пожарные депо и т. п.); производственная; складская и подсобная. Наименьшее расстояние между зданиями и сооружениями в зависимости от степени их огнестойкости составляет 9-18 м. При планировке предприятия учитывается необходимость удобного подъезда пожарных автомобилей к зданиям и сооружениям. При ширине здания или сооружения до 18 м достаточно подъезда с одной стороны, при ширине более 18 м необходим подъезд с двух сторон. Для подъезда к водоемам или естественным водоисточникам устраиваются проезды шириной не менее 3,75 м с площадками не менее 12х 12 м. Склады представляют большую опасность в отношении пожаров и взрывов. На складах обычно в больших количествах хранятся материальные ценности, многие из которых являются горючими и взрывоопасными веществами. Материальный ущерб от пожаров на складах, базах, в магазинах составляет по стране около 50 % общего ущерба от пожаров. Опасность усугубляется тем, что на складах огонь распространяется очень быстро и до прибытия пожарной команды успевает захватить большие площади. Например, скорость распространения пламени по пиломатериалам составляет около 4 м/мин, а поразлившейся горючей жидкости – до 25 м/мин.

### ***4.2. Противопожарная безопасность технологического оборудования***

К основным мерам пожарной безопасности относятся: контроль режима работы оборудования (температура, давление, скорость рабочих органов и т.д.), который должен соответствовать паспортным данным, технологическому регламенту; своевременная смазка подшипников, температура которых во всех случаях не должна превышать 60 °С; теплоизоляция нагретых поверхностей; применение магнитной защиты для улавливания металломагнитных примесей перед измельчающими машинами (дробилками, вальцовыми станками); надежная герметизация оборудования и его аспирация; постоянный контроль за натяжением приводных ремней, лент конвейеров и норий для исключения пробуксовки ремней, лент; применение системы автоматизации, блокировки, средств контроля, предупредительной и аварийной сигнализации и др. К мерам пожарной безопасности при эксплуатации зерносушилок относятся: правильное устройство и эксплуатация топочных устройств; предварительная очистка зерна на зерноочистительных машинах от соломы и крупных примесей; контроль за постоянным наполнением сушильных камер зерном во время работы сушилок; контроль за температурой нагрева зерна в сушильной камере, не допуская его перегрева выше допустимых значений и т.д. Для защиты электроустановок и электрических сетей от токов короткого замыкания и токовых перегрузок применяются специальные средства защиты: тепловые реле, плавкие предохранители, автоматические выключатели и др. Важно правильно подобрать соответствующий аппарат защиты, обеспечивающий минимальное время срабатывания. Наряду с этим при эксплуатации электроустановок не допускается наличия около электродвигателей, распределительных щитов, аппаратов управления и приборов легковоспламеняющихся и горючих веществ и материалов, а также скопления пыли и отходов производства. В пожароопасных помещениях запрещено включать электроустановки, автоматически отключающиеся при коротком замыкании, без выяснения и устранения причин отключения; проводить работы в электроустановках без снятия напряжения. Системы воздушного отопления и вентиляции также пожароопасны вследствие возможности распространения пламени по воздуховодам, коробам и каналам в другие помещения, вызывая там новые очаги пожаров. Поэтому их следует устраивать так, чтобы не увеличивать пожарную опасность





### ***Электробезопасность на объектах хранения переработки зерна***

Электрооборудование предприятий по хранению и переработке зерна по своему исполнению должно отвечать требованиям ПУЭ. Предполагается выполнение организационных мероприятий:

выполнение правил взрывобезопасности, обучение, допуск к работе, оформление наряда-допуска, создание добровольных дружин и пр., а также технических мероприятий: отключение установки; обеспечение невозможности ошибочной подачи напряжения; установка знаков безопасности и ограждение токоведущих частей, рабочего места и т.п. На хлебоприемных и зерноперерабатывающих объектах возможно накопление на оборудовании статического электричества. Особенно опасные заряды статического электричества возникают в рабочих органах машин, где происходит измельчение продукта и галереи. Заряды статического электричества накапливаются и на людях при использовании обуви с непроводящей электрический ток подошвой, одеждой и бельем из шерсти, шелка и искусственного волокна, при движении по токопроводящему полу. Опасность статического электричества состоит в том, что в производственных процессах возможно воспламенение пылевоздушных смесей искровыми разрядами. При потенциале свыше 5 кВ энергии разряда достаточно для воспламенения некоторых пылей.

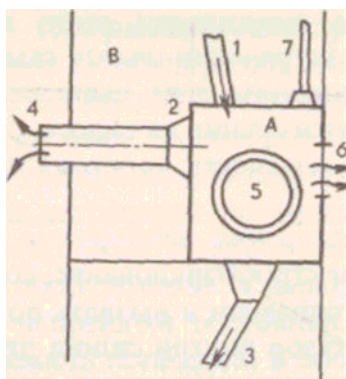
Заземление – основной и один из простых методов защиты от статического электричества, если на внутренних системах оборудования не образуется отложений непроводящего продукта (муки). Остальные способы (увлажнение продукта и окружающего воздуха, применение антистатических веществ, ионизация воздуха) на предприятиях хлебопродуктов практически не применяются. При наличии заземления образующиеся заряды отводятся в землю и не накапливаются до такой величины, при которой может возникнуть искровой разряд. Сопротивление заземляющего устройства для защиты от статического электричества, с учетом очень малых величин силы тока утечки (микроампер) допускается до 100 Ом. Для этого используют заземляющее устройство, предназначенное для электрооборудования и защиты от вторичных проявлений молнии.

### ***Предотвращение пылевых взрывов***

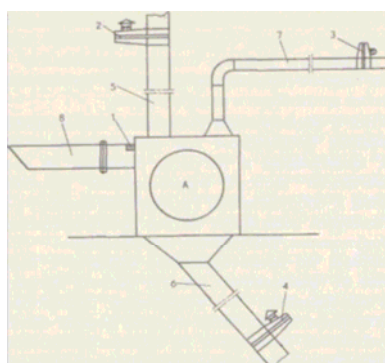
Комплекс мер по предотвращению взрывов пылевоздушных смесей на предприятиях необходимо направлять на исключение условий для возникновения взрыва. Определены два основных направления: предупреждение образования пылевоздушной смеси и возникновения источника зажигания. Основным методом предотвращения запыленности воздуха в производственных помещениях – герметизация оборудования, воздухопроводов и самотечных труб. Однако герметизация не дает полного эффекта. В машинах создается избыточное давление, многие аппараты приходится периодически открывать в процессе обслуживания, при этом выделяется пыль. Предусматриваются аспирация оборудования, а также мероприятия по исключению разрежения в помещениях. Этого достигают герметизацией оборудования, недопущением излишнего отбора воздуха из него, организованной подачей воздуха в помещения. В качестве критерия классификации пылевого режима принято критическое значение удельной интенсивности пылеотложения на полу помещения, величина которой определяется из условия, что горячая пыль, отложившаяся в производственном помещении, при переводе ее во взвешенное состояние может образовать взрывоопасную смесь в объеме: не превышающем 5 % свободного объема помещения (взрывобезопасный пылевой режим); превышающем 5 % свободного объема помещения, но не более 25 % (взрывоопасный пылевой режим); превышающем 25 % свободного объема помещения (особо взрывоопасный пылевой режим). Для устранения источников воспламенения необходимо правильно эксплуатировать технологическое оборудование и аспирационные системы, исключать возможность попадания в них посторонних предметов. Перед всеми молотковыми дробилками, вальцовыми станками, центробежно-щеточными просеивателями, прессами устанавливаются магнитные колонки или электромагнитные сепараторы, улавливающие металломагнитные примеси. Около 30 % пылевых взрывов в отрасли происходит из-за нарушения правил проведения электрогазосварочных работ в помещениях и самовозгорания сырья или готовой продукции. Предупреждение этого явления состоит в своевременном обнаружении и устранении очагов самовозгорания. При выпуске продукта из силоса (бункера), в котором обнаружен очаг самовозгорания резко возрастает опасность перехода процесса тления во взрывное горение аэрозоля.

Тлеющие куски в инертной среде не горят, но при флегматизации азотом и выпуске сырья из силоса могут воспламениться на воздухе. Наиболее эффективный способ защиты от опасного повышения давления в производственном оборудовании, зданиях и сооружениях - снижение взрывного давления сбросом в атмосферу образовавшихся газообразных продуктов взрыва через предохранительные устройства. Для предупреждения повышения давления взрыва в защищаемом оборудовании выше допустимого уровня, его защиты от разрушения и предотвращения распространения продуктов горения в производственные помещения и на другое оборудование, в которых наиболее вероятно образования пылевоздушного взрыва (молотковые дробилки, вальцовые станки, нории и др.), необходимо снизить взрывное давление сбросом в атмосферу образовавшихся газообразных продуктов через предохранительные устройства. Устанавливаются взрыворазрядные предохранители шибберного и бандажного типов (*рис. 5, 6*).

Эффективной преградой распространению взрыва служит быстродействующая задвижка У2-БЗБ с линейным асинхронным электроприводом для сброса избыточного давления взрыва в атмосферу через взрыворазрядители. Она предназначена для обнаружения взрыва в оперативном бункере, технологическом, аспирационном и транспортном оборудовании в начальной стадии развития и предотвращения распространения пламени и продуктов взрыва по самотекам и воздуховодам аспирации на смежные участки. Время срабатывания системы локализации взрыва от момента поступления сигнала на датчик-индикатор до полного перекрытия трубопроводов не превышает 0,2с.



*Рис.5. Схема защиты оборудования взрыворазрядителем: 1, 3 – самотечные трубы, 2 – мембрана с взрыворазрядной трубкой, 4 – взрыворазрядная труба, 5 – рабочий орган, 6 – мембрана на выходе за пределы помещения, 7 – аспирационный трубопровод; А – машина; В – помещение*



*Рис. 6. Схема установки задвижек: 1 - датчик индикатора давления, 2, 3, 4 - быстродействующие задвижки, 5, 6 – трубопроводы, 7 –воздуховод, 8 – взрыворазрядитель*

Взрывозащите подлежат также бункеры и силосные корпуса, которые при разгрузке заполняются пылевоздушной смесью. При появлении в них источника воспламенения может произойти взрыв более сильный, чем в оборудовании, т.к. их вместимость значительно больше. Их взрывоопасность зависит от степени заполняемости: максимальная – при пустом объеме и минимальная – при полной загрузке объема. Для эффективной взрывозащиты рекомендуется располагать бункеры у наружных стен, благодаря чему удобнее оснастить их взрыворазрядными устройствами .



Для защиты от разрушения зданий и сооружений при возникновении пылевых взрывов предусматриваются легкобрасываемые конструкции: оконные проемы, ограждающие стеновые панели, кровля и др. Оконное стекло будет выполнять функции легкобрасываемой конструкции, если при толщине 3 мм площадь одного листа стекла будет не менее 0,8 м<sup>2</sup>, при 1 мм соответственно 1 м<sup>2</sup> и при 5 мм – 1,5 м<sup>2</sup>. Оконные проемы, заполненные стеклоблоками, стеклопрофилитом и армированным стеклом, из-за их прочности нельзя считать легкобрасываемыми конструкциями. Кровля будет отвечать этому требованию, если поверхностная нагрузка, включая собственную массу, а также постоянную и временную нагрузки, не будет превышать 120 кг/м<sup>2</sup>. Площадь легкобрасываемых конструкций определяется расчетом. Она должна составлять не менее 0,03 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup> защищаемого объема помещения. Остаточное давление взрыва будет минимальным, разрушений производственного здания не произойдет. Локализация взрыва в первоначальном объеме – важнейшая задача в предотвращении последствий пылевых взрывов. Однако иногда взрыв распространяется не только по данному производству, но переходит и в другие здания по коммуникациям. В отличие от пожара процесс взрыва происходит в столь короткий промежуток времени, что принять какие-то меры практически невозможно. Предусматриваются легкобрасываемые ограждающие конструкции; тамбуршлюзы в переходах из одного помещения в другое; тамбуршлюзы на выходах в лестничную клетку; огнепреградительные устройства на переходах из одного помещения в другое; огнепреградительные устройства в системе вентиляции и рециркуляции. При проектировании вентиляции помещений, в которых хранится, обрабатывается и извлекается масло из семян, руководствуются принципами расчета и устройства систем вентиляции и ведомственными нормами. Реальный эффект в уменьшении запыленности воздуха дает местная вентиляция. Для обеспечения эффективной работы систем аспирации рекомендуется:

- устанавливать пылеприемники систем аспирации в зонах наибольшего пылевыделения с учетом распространения воздушных потоков;
- определять границы эффективного действия пылеприемников формой и размером всасывающих отверстий, расходом воздуха и расстоянием от всасывающего отверстия;
- определять расход воздуха, обеспечивающий улавливание пыли на требуемом расстоянии и ее транспортирование по элементам системы аспирации. Для компенсации воздуха, удаляемого системами аспирации, и ассимиляции теплоизбытков в производственных помещениях предлагаются системы механической общеобменной вентиляции. В летний период допускается естественный приток в верхнюю зону.

В очистительном, шелушильно-сепараторном, вальцовых отделениях местная вытяжка устраивается от пылящего оборудования (нории, пневмоочистители, бункеры, конвейеры, весы, встряхиватели, биттер-сепараторы, сепараторы рушанки, шнеки и т.п.). Общеобменная вентиляция: вытяжка – из верхней зоны, приток - в верхнюю зону для ассимиляции и удаления избыточного тепла. Прессовый цех характеризуется значительными теплоизбытками. Местная вентиляция устанавливается от мест выхода ракушки. Общеобменная вентиляция в зимний период: естественная вытяжка воздуха из верхней зоны, приточная механическая вентиляция с подачей воздуха в рабочую зону. В летний период осуществляется дополнительно естественный приток в рабочую зону.

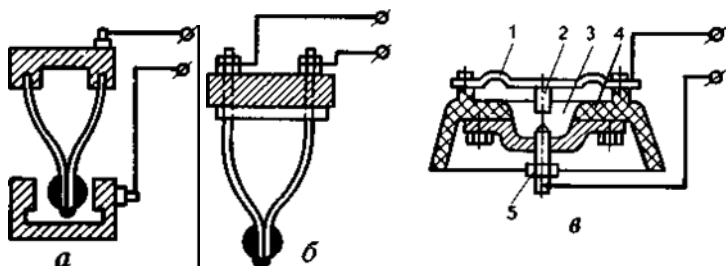
Предлагается отопление подготовительного цеха воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией. В нерабочее время включается дежурное отопление. В качестве нагревательных приборов в очистительных, рушально-веечных, шелушильно-сепараторных, вальцовых цехах рекомендуются регистры из гладких труб; в прессовых – радиаторы, воздушно-отопительные агрегаты АПВС. Температура теплоносителя в прессовом цехе – до 150, рушально-веечном и вальцовом – до 130, очистительном и шелушильно-сепараторном – до 110 °С.

### ***Средства обнаружения и тушения пожаров***

На предприятиях отрасли хлебопродуктов распространена охраннопожарная сигнализация, которая извещает о пожаре и месте его возникновения. Наиболее надежная электрическая пожарная сигнализация, которая включает: извещатели, линии связи, приемную станцию (коммутатор), звуковые и световые сигналы. Некоторые виды этих систем обеспечивают одновременный автоматический пуск в действие средств пожаротушения в охранном помещении. В зависимости от того, какой фактор вызывает срабатывание датчика, извещатели подразделяются на тепловые,



дымовые, световые и др. Тепловые извещатели реагируют на повышение температуры; дымовые – на появление дыма; световые – на открытое пламя; комбинированные – на тепло и дым. Тепловые извещатели (рис. 7) имеют чувствительный элемент: биметаллические пластинки, спирали или пружинящие пластинки со спаянными легкоплавкими концами, а также полупроводники или термопары. Извещатели типа АТИМ срабатывают при повышении температуры до определенной величины, на которую они отрегулированы. Эти извещатели регулируются на температуру срабатывания 60 или 80 °С независимо от скорости ее нарастания. Время срабатывания до 2 мин., контролируемая площадь – до 15 м<sup>2</sup>. Дымовые извещатели (РИД-1) рассчитаны на обнаружение дыма в воздухе. Извещатель имеет ионизационную камеру с радиоактивным веществом или фотоэлементы. При попадании в нее дыма сила ионизированного тока уменьшается, извещатель включается в результате срабатывания исполнительного реле в приемной станции. Время срабатывания дымового не превышает 5 с.



**Рис. 7. Тепловые автоматические извещатели: а – плавкий замыкающий, б – плавкий размыкающий; в – саамовосстанавливающий; 1 – биметаллическая пластина, 2, 3 – контакты, 4 – изолирующее основание, 5 – регулировочный винт**

Световые извещатели (СИ-1) реагируют на действие ультрафиолетового излучения пламени. В качестве чувствительного элемента используются счетчики фотонов, обладающие высокой чувствительностью, способные обнаруживать небольшие очаги пламени (даже горение спички) практически мгновенно. Для приема сигналов от ручных и автоматических извещателей служат приемные станции пожарной сигнализации. Широкое распространение получили станции ТОЛ-10/100 (тревожная, оптическая, лучевая). Она включает приемное устройство с общестанционным блоком, имеющим линейные блоки на десять лучей каждый. В каждый луч можно включить неограниченное количество извещателей с контактами на размыкание цепи. Станция обеспечивает прием сигналов, проверку исправности, обнаружение повреждений, трансляцию сигнала в пожарную часть и запуск автоматического пожаротушения. Тушение пожара может быть осуществлено: охлаждением горящих материалов веществами, обладающими большой теплоемкостью; изоляцией горящих материалов от воздуха; снижением содержания кислорода в воздухе, специальными химическими средствами. Для тушения пожаров используется вода, водяной пар, воздушно-механическая и химическая пены, инертные газы, огнегасительные порошки и специальные химические вещества и составы. Самый распространенный способ тушения пожаров водой. Попадая в зону горения, вода нагревается и испаряется, поглощая большое количество тепла. При испарении воды образуется большое количество пара (из 1 л воды до 1700 л пара), который затрудняет доступ воздуха к очагу горения. Сильной струей воды можно сбить пламя, тем самым облегчить тушение пожара.

Добавление в воду пенообразователей (0,20-2,0 %) снижает силу поверхностного натяжения, улучшает огнегасительные свойства, уменьшает расход в 2,0-2,5 раза и сокращает время тушения пожара. В качестве пенообразователей используются сульфаты, пенообразователь ПО, смачиватель НБ и др. Для тушения пожаров применяются инертные и негорючие газы: диоксид углерода и азот, которые уменьшают концентрацию кислорода в очаге горения и снижают интенсивность горения. Огнегасительная концентрация газов при тушении в закрытом помещении составляет 31-36 % к объему помещения. Применение для пожаротушения галоидоуглеводородных огнегасительных составов, основано на химическом торможении реакции горения. К ним относят: трифторбромметан (хладон 13В1), бромистый метилен, составы на основе бромистого этила (4НД, СЖБ) и др. Эти составы значительно эффективнее диоксида углерода, имеют большую плотность,



что повышает эффективность пожаротушения. Составы используются и при низкой температуре воздуха. Для тушения пожаров рекомендуется пожарная техника: пожарные машины (автомобили, мотопомпы, прицепы); установки пожаротушения и пожарной сигнализации; огнетушители, пожарное оборудование; пожарный ручной инструмент, пожарный инвентарь и пожарные спасательные устройства. В помещениях взрывопожароопасных категорий применяются стационарные установки пожаротушения. На предприятиях хлебопродуктов в основном используются автоматические спринклерные установки водяного тушения. Спринклерные установки (водяные, воздушные и воздушно-водяные) предназначены для местного тушения и локализации пожара. Они состоят из распределительных водоводов и контрольно-сигнального клапана для присоединения к противопожарному водоводу. В защищаемом помещении на потолочных трубопроводах размещаются разбрызгиватели воды (спринклеры) из расчета один спринклер на 9-12 м<sup>2</sup> площади помещения. При обычной температуре воздуха в помещении отверстие в спринклерной головке, через которое выходит вода, закрыто легкоплавким замком. При повышении температуры замок плавится, вода поступает в головку и, ударяясь о розетку, разбрызгивается. Температура плавления припоя замка составляет 72; 93; 141 °С. Спринклерные установки обладают инерционностью (срабатывают через 2-3 мин. после повышения температуры в помещении) и вскрываются лишь головки, оказавшиеся в зоне высокой температуры. Когда такая инерционность неприемлема и воду необходимо подавать сразу на всю площадь помещения, рекомендуются дренчерные установки группового действия. Дренчерные установки аналогичны спринклерным, но не имеют замков и отверстия для выхода воды открыты. Вода в водопровод подается после начала пожара (ручным или автоматическим способом). Дренчерная система предназначена для защиты здания от возгорания при пожаре в соседних сооружениях и для противопожарной защиты в условиях повышенной пожарной опасности. Противопожарное водоснабжение обеспечивает предприятие водой для пожаротушения, подаваемой под давлением, из общей водопроводной сети или пожарных водоемов и сосудов. На объектах отдельный противопожарный водопровод обычно не сооружается. Он объединяется с хозяйственно-питьевым или производственным. Водопроводная сеть, на которой устанавливается пожарное оборудование, должна обеспечить требуемый напор и расход воды. Противопожарные водопроводы могут быть низкого и высокого давления. Противопожарные водоводы низкого давления проектируются в случаях, когда тушение пожара осуществляется передвижными средствами пожаротушения, подающими воду от гидрантов к месту пожара. Свободный напор при пожаротушении в водопроводной сети низкого давления должен быть не менее 10 м от уровня поверхности земли. В водоводах высокого давления необходимый напор создается насосами, обеспечивая высоту струи воды 10 м, расчетный расход воды при расположении ствола на уровне наивысшей точки самого высокого здания. В случае невозможности получения необходимого количества воды для тушения пожара из источника водоснабжения на предприятии предусматривают запас воды в водоемах (резервуарах) из расчета тушения пожара в течение 3 ч. Для забора воды из водопроводной сети устанавливаются пожарные гидранты. Наибольшее расстояние от гидрантов до защищаемых объектов не превышает 120 м при противопожарных водопроводах высокого давления и 150 м – низкого давления. От наружной водопроводной сети прокладываются вводы к зданиям, а от вводов в здании предусматривается внутренний противопожарный водопровод, на котором устанавливаются внутренние пожарные краны. Внутренний противопожарный водопровод не прокладывается в элеваторах, складах зерна и комбикормов, зерносушилках. В рабочих зданиях элеваторов сооружаются сухотрубы, предназначенные для подачи на верхнюю площадку одной пожарной струи. Внутренние пожарные краны размещаются в отопляемых лестничных клетках, коридорах на высоте 1,35 м от пола в шкафах. Пожарный кран обеспечивается рукавом длиной 10 или 20 м и стволом. Первичные средства пожаротушения предназначены для ликвидации небольших очагов загораний. К ним относятся: пожарные стволы (водяные и воздушно-пенные), внутренние пожарные краны, огнетушители, бочки с водой, лопаты, сухой песок, асбестовые одеяла и другой пожарный инвентарь. Углекислотные огнетушители (ОУ-5, ОУ-8) предназначены для тушения электроустановок под напряжением. Диоксид углерода находится в баллонах огнетушителей в жидком виде под давлением 6 МПа (для ручных) и 15 Мпа (для передвижных). С помощью раструба диоксид углерода превращается в твердое (снегообразное) состояние. Продолжительность действия огнетушителей 15-25 с, длина струи 2,0-3,5 м.

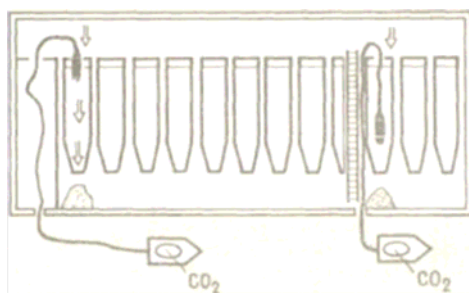
### **Эвакуация людей**

В зданиях производственного и вспомогательного назначения на случай возникновения пожара предусматриваются эвакуационные выходы. Они обеспечивают безопасность и быстрый выход людей наружу. Пути эвакуации устраивают таким образом, чтобы была возможность всем людям покинуть здание за расчетное время эвакуации. Количество эвакуационных выходов из производственных помещений – не менее двух. В качестве второго выхода со второго и расположенных выше этажей допускается использование наружных пожарных лестниц. Из галерей и площадок, размещенных внутри зданий, необходимо предусматривать не менее двух стальных лестниц шириной 0,7 м.

Время от начала пожара до возникновения опасной для человека ситуации называется критической продолжительностью пожара. С учетом данных о критической продолжительности пожара и коэффициента безопасности нормируется время эвакуации людей, зависящее от категории пожарной опасности, объема помещений составляет 0,5-3,0 мин.

### **Локализация и ликвидация пожаров на элеваторе**

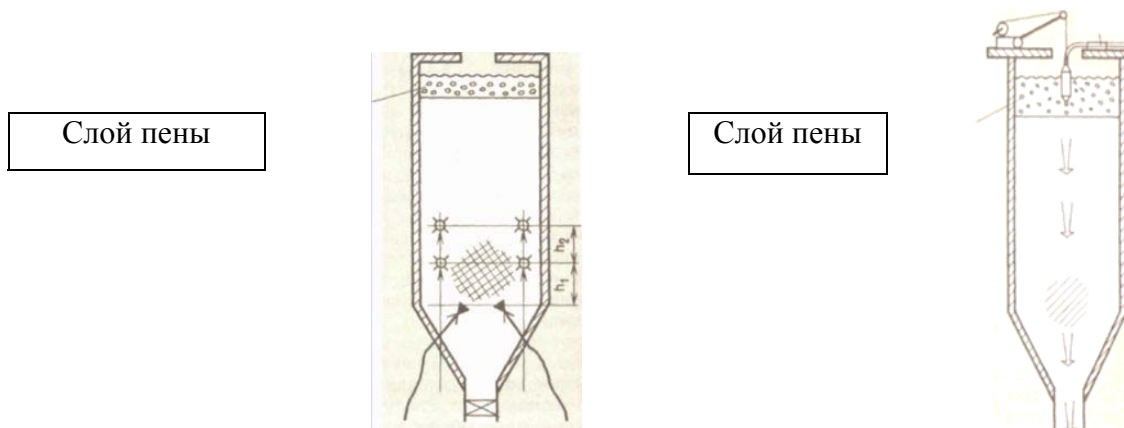
При возникновении пожаров на элеваторах для ограничения распространения огня персонал должен остановить работу всех механизмов башни и прекратить разгрузку и загрузку силосов, прием и выдачу зерна. По прибытии на пожар пожарный расчет организует разведку в нескольких направлениях. Определяется возможность распространения огня по вентиляционному и технологическому оборудованию, системам транспортирования зерна в силосы, в места приема и выдачи зерна. Одновременно с разведкой пожара осуществляют боевое развертывание. Для подачи воды в надсилосные помещения и верхние этажи башни используются сухотрубы. Рукавные линии поднимаются по наружным пожарным лестницам, автолестницам, а также с помощью веревок снаружи элеваторов. При подаче воды в высокие точки элеваторов на магистральных линиях целесообразно устанавливать два разветвления: одно внизу, а второе на 1-2 этажа ниже места пожара в башне или в надсилосном помещении. Пожары в элеваторах тушатся, как правило, водой. Используются стволы-распылители РС-70, а при развившихся пожарах – лафетные. Количество стволов определяется в зависимости от интенсивности подачи воды, которая для элеваторов и мельниц равна 0,14 л/м<sup>2</sup>-с. При пожаре в подсилосном помещении первые стволы подаются через входы со стороны башни, а также с противоположной стороны через оконные проемы. При развившихся пожарах в подсилосное помещение подаются стволы РС-70 и лафетные, в надсилосное – стволы РС-50. При недостатке сил и средств для предупреждения распространения огня в башне по нижним транспортерам расчет может выпустить зерно из одного или нескольких силосов. В случае проникновения огня внутрь силосов используется воздушно-механическая пена средней кратности с одновременной разгрузкой силоса. Если пожар возник в башне элеватора, стволы подают со стороны подсилосного помещения, затем снизу башни по внутренней лестнице. Резервные стволы подаются в галереи, ведущие из башни в мельницу, сушилку и другие помещения. В отдельных аппаратах и системах тушат пожары, заполняя их воздушно-механической пеной. Процесс тушения пожара в силосе включает в себя герметизацию силоса, флегматизацию горючей газовой смеси в объеме силоса, а также тушение горящего материала снизу вверх с последующей его разгрузкой. Тушение пожаров в силосах и бункерах можно осуществлять одним из следующих способов: подачей в силос жидкого диоксида углерода (**рис. 8, 9**), перегретого пара, водных растворов пенообразователей и комбинированным.



**Рис. 8. Схема использования автомобиля азрозольного тушения**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Факторами, способствующими развитию и распространению пылевого взрыва являются: повышенная запыленность помещений; наличие развитой связи между технологическими аппаратами, сооружениями, присутствие мелкодисперсного продукта в магистралях и коммуникациях.



**Рис. 9. Приемы тушения пожаров на элеваторах комбикормовых заводов**

Поражающее действие воздушной ударной волны определяется избыточным давлением, временем действия и скоростью движения волны. При времени действия ударной волны более 0,2-0,25 с, что характерно для зон, отдаленных от эпицентра взрыва, травмирующим фактором являются давление и скорость движущейся за фронтом волны области сжатия. При скорости движения воздушной среды 40 м/с, что соответствует давлению в зоне сжатия 20 кПа, люди получают травмы при падении. При избыточном давлении 35-105 кПа разрываются барабанные перепонки, при больших давлениях – кровеносные сосуды, мышцы и т.д. Температура продуктов взрывного горения аэрозолей органических пылей превышает 1000 °С. Их воздействие на людей приводит к ожогам различной тяжести. Воздействие пламени горящего аэрозоля вызывает воспламенение элементов строительных конструкций производственных зданий и сооружений, сырья и готовой продукции. На хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятиях возможно накопление зарядов статического электричества на оборудовании, транспортных механизмах и воздуховодах. Статическое электричество возникает при производстве муки, крупы и комбикормов, подработке зерна. Особенно опасные заряды статического электричества возникают в рабочих органах оборудования, где происходит измельчение продукта. Установлено, что при потенциале свыше 5 кВ энергии разряда достаточно для воспламенения некоторых пылей.

### **Выводы**

На основании выполненных исследований разработаны технические решения по предупреждению, локализации и ликвидации пожаров и взрывов.

Количество эвакуационных выходов из производственных помещений – не менее двух. В качестве второго выхода со второго и расположенных выше этажей используются наружные пожарные лестницы. Из галерей и площадок, размещенных внутри зданий, предусматривается не менее двух стальных лестниц шириной 0,7 м. Для защиты электроустановок от токов короткого замыкания и токовых перегрузок применяются: тепловые реле, плавкие предохранители, автоматические выключатели и др. Для устранения зарядов статического электричества предусмотрено заземление электропроводных частей оборудования. Комплекс мер, направленный на предотвращение взрывов пылевоздушных смесей, включает два направления: исключение условий образования пылевоздушной смеси и возникновения источников воспламенения.

Для защиты персонала от повышения давления, обнаружения взрыва в оперативном бункере (технологическом, аспирационном), транспортном оборудовании в начальной стадии, предотвращения распространения огня и продуктов взрыва по воздуховодам аспирации на смежные участки рекомендуется система быстродействующих задвижек (взрыворазрядителей) типа У2-БЗБ и



датчиков-индикаторов давления СУМ-1 с линейным асинхронным электроприводом, осуществляющая сброс избыточного давления взрыва в атмосферу. Для защиты производственных зданий и сооружений от разрушения при возникновении в них пылевых взрывов предусматривается устройство легкобрасываемых конструкций. Основным методом предотвращения запыленности воздуха в производственных помещениях герметизация оборудования, воздухопроводов и самотечных труб, а также аспирация. Аспирационные установки отсасывают запыленный воздух из мест пылеобразования, предупреждают возможность возникновения пылевых взрывов.

Аспирируются сепараторы, самотечные и поворотные трубы, башмаки и головки норий, разгрузочные воронки и тележки транспортеров, весы и др. Для обеспечения эффективного улавливания пыли и работы систем аспирации: пылеприемники устанавливаются в зонах пылевыделения с учетом распространения воздушных потоков, возбуждаемых рабочими органами машин; оптимизируются границы действия пылеприемников: форма, размер всасывающих отверстий, расход воздуха и расстояние от всасывающего отверстия.

Контроль работы аспирационных систем осуществляется датчиками РКС. Они позволяют параметризовать условия их срабатывания в широких пределах, при отклонении рабочих параметров аспирационной системы от заданных. На ранней стадии развития процесса взрыва принимаются меры по герметизации силоса, где возник очаг, для предотвращения поступления кислорода воздуха. Выгрузка силоса проводится после применения флегматизирующих газов (диоксид углерода, азот). Рекомендуется автоматическая электрическая пожарная сигнализация.

Средствами обнаружения пожаров являются автоматические тепловые извещатели типа АТИМ, дымовые извещатели типа РИД-1, световые извещатели типа СИ-1. Тепловые извещатели срабатывают при повышении температуры до определенной величины. Извещатели регулируются на температуру срабатывания + 60 °С или +80 °С независимо от скорости нарастания ударной воздушной волны. Время срабатывания до 2 мин., контролируемая площадь - до 15 м<sup>2</sup>. Дымовые извещатели рассчитаны на обнаружение дыма (продуктов сгорания) в воздухе. Время срабатывания извещателя не превышает 5 с. Световые извещатели реагируют на действие ультрафиолетового излучения пламени, обладают высокой чувствительностью, способны обнаруживать небольшие очаги пламени (даже горение спички) практически мгновенно. Для приема сигналов от автоматических извещателей предлагается приемная станция пожарной сигнализации типа ГОЛ-10/100 (тревожная, оптическая, лучевая). Станция включает приемное устройства с общестанционным блоком, имеющим линейные блоки на десять лучей каждый. В любой луч можно включить неограниченное количество извещателей с контактами на размыкание цепи. Станция обеспечивает прием сигналов тревоги, проверку исправности и обнаружение повреждений, трансляцию сигнала тревоги в пожарную часть и запуск автоматического пожаротушения. В качестве средства тушения пожара рекомендуется вода. Попадая в зону горения, вода нагревается и испаряется, поглощая большое количество тепла. При испарении воды образуется большое количество пара (из 1 л воды до 1700л), который затрудняет доступ воздуха к очагу горения. Сильной струей воды можно сбивать пламя, облегчая тушение пожара. Добавление к воде 0,2-2,0 % пенообразователей (сульфонаты, пенообразователь ПО, смачиватель НБ и др.) способствует улучшению огнегасительных свойств, уменьшению ее расхода в 2,0-2,5 раза, сокращению времени тушения. Вода к очагу пожара подается стволами РС-70, с насадками 13-25 мм, а при развившихся пожарах - и лафетными, с насадками 28-50 мм. Количество стволов определяют в зависимости от интенсивности подачи воды, которая для элеваторов и мельниц равна 0,14 л /м<sup>2</sup>с.

Газовые составы (диоксид углерода, азот и др.) рекомендуются для тушения пожаров в электроустановках, а также для быстрого тушения небольших очагов пожара. В очаге горения они испаряются, снижают концентрацию кислорода и интенсивность пожара. Азот эффективен также при тушении очагов самовозгорания семян или зерна в силосах. Концентрация инертных газов при тушении в закрытом помещении составляет 31-36 % к объему помещения. Для тушения нефтепродуктов, твердых органических материалов в ручных и возимых огнетушителях эффективны галоидоуглеводородные огнегасительные составы. Их действие основано на химическом торможении реакции горения (ингибировании). Рекомендуются: трифторбромметан (хладон 13В1), бромистый метилен, составы на основе бромистого этила (4НД, СЖБ) и др. Эти составы эффективнее диоксида углерода, т.к. имеют большую плотность, что повышает эффективность пожаротушения. Низкая



температура замерзания позволяют использовать их при отрицательной температуре воздуха. Для местного тушения и локализации пожара в помещениях предлагаются автоматические спринклерные установки водяного тушения. В защищаемом помещении на потолочных трубопроводах размещаются разбрызгиватели воды спринклеры, из расчета один спринклер на 9-12 м<sup>2</sup> площади помещения. Температура плавления припоя замка составляет 72; 93; 141 °С. Спринклерные установки имеют недостатки: обладают инерционностью (вскрываются через 2-3 мин. после повышения температуры в помещении) и вскрываются лишь головки, оказавшиеся в зоне высокой температуры. Этим недостатком лишены дренчерные установки группового действия. Вода подается сразу на всю площадь помещения ручным или автоматическим способом. Дренчерная система целесообразна для защиты здания от возгорания в соседних сооружениях и для противопожарной защиты в условиях повышенной пожарной опасности. Предполагается устройство противопожарного водопровода, объединенного с хозяйственно-питьевым. Для обеспечения бесперебойной подачи воды при аварии на водопроводе сеть противопожарного водопровода закольцовывается. Водопроводная сеть, на которой установлено пожарное оборудование, обеспечивает требуемый напор и пропускает расчетное количество воды. Передвижные средства пожаротушения (мотопомпы и т.п.) питаются от водопровода низкого давления, подающего воду от гидрантов к месту пожара. В водопроводе высокого давления необходимый напор создается стационарным насосом, включаемым при возникновении пожара. Водопровод высокого давления обеспечивает высоту компактной струи воды 10 м при расчетном расходе воды и расположении ствола на уровне наивысшей точки самого высокого здания. Для тушения пожаров предлагаются автомобили аэрозольного тушения. При ликвидации небольших очагов возгораний рекомендуются первичные средства пожаротушения: пожарные стволы (водяные и воздушно-пенные), огнетушители, бочки с водой, лопаты, сухой песок, асбестовые одеяла и др.

## Литература

1. Алексеев С. В., Усенко В.Р. Гигиена труда. М.: Медгиз, 1988.
2. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. С. В. Белова. М.: Высшая школа, 1999.
3. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. З.Л. Арустамова. М.: ИД "Дашков и К°", 2001.
4. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. Э.А. Арустамова. М.: ИВЦ "Маркетинг", 1998.
5. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. О.Н. Русака. СПб.: ЛТА, 1997.
6. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. Э.А. Арустамова М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2003. с. 216-223.
7. Васильев В.Я., Семенов Л. И. Взрывобезопасность на предприятиях по хранению и переработке зерна. М.: Колос, 1983.
8. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. М.: Энергоатомиздат, 1985.
9. Закон РСФСР "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 19.04 1991 г.
10. Клубань В. С., Петров А. П., Рябиков В. С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса. М.: Стройиздат, 1987.
11. Комков Б. Д., Галкина А. В., Теплов А. Ф. Справочник по охране труда на хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1981.
12. Лапин В.Л., Попов В.М., Рыжков Ф.Н., Толмаков В.И. Безопасные взаимодействия человека с техническими системами. Курск: 1995.
13. Оценка освещения рабочих мест. Методические указания. Министерство труда и социального развития РФ. М.: НПК, "Апрохим", 1998.
14. Платонов АЛ., Архищев Н.Е. Охрана труда. М.: МУПК, 1998.
15. Правила техники безопасности и производственной санитарии на предприятиях по хранению и переработке зерна Министерства хлебопродуктов СССР, Часть 1, М., 1989.
16. Сегеда Д. Г., Дашевский В. И. Охрана труда в пищевой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.
17. Соколов М.Б. Руководство по охране труда. Мытищи: "Талант", 2001.
18. Теплов А. Ф., Галкина А. В. Справочник по охране труда на предприятиях по хранению и переработке зерна. М.: Агропромиздат, 1988