

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

Рецензент

_____/Е.В. Демченков/
« ____ » _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой БЖД.

_____/А.И. Сидоров/
« ____ » _____ 2017 г.

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных методов определения
максимального давления взрыва и нижнего концентрационного предела
распространения пламени

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ
ЮУрГУ – 20.04.01.2017.209 ПЗ МД

Научный руководитель, доцент

_____/М.Н. Боровик /
« ____ » _____ 2017 г.

Автор диссертации

студент группы П–267

_____/Ю.А. Никитин /
« ____ » _____ 2017 г.

Нормоконтролер, доцент

_____/А.В. Кудряшов /
« ____ » _____ 2017 г.

Челябинск 2017

РЕФЕРАТ

Никитин Ю.А. – Челябинск:
ЮУрГУ, П–267, 2017. – 103 с.,
29 ил., 13 табл., библиограф.
список – 50 наим.

В ходе работы рассмотрены статистические данные по возникновению пылевых взрывов и их причины за последние 20 лет. Проведен анализ технологического взрывоопасного оборудования, рассмотрена технология мукомольного производства и методы предупреждения взрывов и пожаров.

Изучены основные пожароопасные свойства горючих веществ и материалов, расчетные и экспериментальные методы определения взрывопожароопасных свойств горючих пылей: НКПР, максимального давления взрыва и скорости его нарастания.

Изучен принцип действия установки по определению взрывопожароопасных свойств горючих пылей.

Проведен сравнительный анализ экспериментального и расчетного метода по определению основных показателей взрывопожароопасности мучной пыли.

SENOPSIS

Nikitin Y.A. – Chelyabinsk:
SUSU, P-267, 2017. – 103 p.,
29 il., 13 tabl., Bibliografy – 50.

Statistical data on the occurrence of dust explosions and their causes for the last 20 years are considered in this work. The analysis of technological explosive equipment is carried out, the technology of flour milling and methods for preventing explosions and fires are considered.

The main fire hazard qualities of combustible substances and materials, computational and experimental methods for determining explosive and fire hazard qualities of combustible dusts are studied: lower explosive limit, maximum explosion pressure and its rate of increase.

The principle of the installation for determining the explosive and fire hazard qualities of combustible dusts has been studied.

A comparative analysis of the experimental and computational method for determining the main indicators of explosion risk of flour dust was carried out.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	11
1.1 Статистика и причины пылевых взрывов.....	11
1.2 Методы предупреждения взрывов	19
1.2.1 Ограничение доступа кислорода	19
1.2.2 Устранение пыли.....	20
1.2.3 Устранение источников зажигания.....	21
1.2.4 Методы защиты от взрывов	26
1.2.5 Технология предотвращения образования зерновой пыли	29
1.3 Технология мукомольного производства	31
1.3.1 Классификация и подготовка зерна к помолу	31
1.3.2 Размол зерна и получение муки	34
1.3.3 Классификация помолов зерна.....	35
1.4 Взрывопожароопасные свойства горючих веществ и материалов	39
1.4.1 Нижний концентрационный предел распространения пламени.....	41
1.4.2 Максимальное давление взрыва.....	43
1.4.3 Скорость нарастания давления взрыва.....	43
1.5 Экспериментальные методы определения нижнего концентрационного предела распространения пламени, максимального давления взрыва и скорости его нарастания	44
1.5.1 Экспериментальные методы в различных странах	44
1.5.2 Установки для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени.....	47
1.5.3 Установка по определению максимального давления взрыва и скорости его нарастания	52
1.6 Расчетные методы определения основных взрывопожароопасных показателей пылевоздушной смеси	55
1.6.1 Метод расчета нижнего концентрационного предела распространения пламени для пылевоздушной смеси.....	56

1.6.2	Метод расчета максимального давления взрыва пылевоздушных смесей.....	59
1.6.3	Метод расчета скорости нарастания давления взрыва пылевоздушной смеси.....	61
2	ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	63
2.1	Объект исследования.....	63
2.2	Методы исследования мучной пыли.....	64
2.2.1	Ситовый анализ исследования мучной пыли.....	64
2.2.2	Установка по определению взрывопожароопасных показателей муки..	65
3	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ И РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МУЧНОЙ ПЫЛИ	72
3.1	Экспериментальный метод исследования мучной пыли	72
3.2	Расчетный метод исследования мучной пыли	77
3.3	Метод расчета нижнего концентрационного предела распространения пламени пылевоздушной смеси.....	78
3.4	Метод расчета максимального давления взрыва пылевоздушной смеси	78
3.5	Метод расчета скорости нарастания давления взрыва пылевоздушной смеси.....	80
4	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ МУЧНОЙ ПЫЛИ.....	82
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	89
	ПРИЛОЖЕНИЕ	92

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: Практически во всех технологических процессах, осуществляемых в разных отраслях промышленности велика опасность возникновения пожара и взрыва. Взрывопожароопасные вещества присутствуют не только в химической, нефтеперерабатывающей и газовой промышленности, но встречаются во всех отраслях связанные с деятельностью человека. В условиях заводского производства становятся опасными вещества, которые считаются негорючими. За последние двадцать лет участились взрывы на взрывопожароопасных предприятиях по производству пылевых материалов и продуктов: древесная, угольная, алюминиевая, мучная и сахарная.

На данных предприятиях в результате технологического процесса участвуют материалы, которые находятся в дисперсном состоянии. Внутри аппаратов и в воздухе производственных помещений дисперсные материалы образуют аэрозоли – системы, состоящие из твердых частиц, распределенных в газовой среде. Если такие аэрозоли горючи, то они представляют потенциальную опасность и их наличие требует соблюдение определенных мер безопасности. Не стоит забывать, что пожарную опасность представляет не только пылевые облака, но и осевшая пыль на конструкциях и технологическом оборудовании. Взрывоопасность промышленных предприятий определяется особенностями технологического процесса и свойствами взрывоопасных веществ [33].

Следовательно, оценка взрывопожарной опасности веществ и материалов является важным этапом в обеспечении пожарной безопасности на производстве и заключается в выборе более точной методики определения показателей взрывопожарной опасности.

К важным показателям, характеризующим взрывопожароопасность веществ и материалов, относят нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени, максимальное давление взрыва и скорости его нарастания.

Взрывопожароопасные показатели горючих пылей определяют экспериментальными и расчетными методами.

Цель работы: сравнительный анализ расчетных и экспериментальных методов определения нижнего концентрационного предела распространения пламени, максимального давления взрыва и скорости его нарастания.

Реализация цели требует постановки и решения следующих основных задач исследования:

- изучить взрывопожароопасные свойства горючих пылей;
- изучить расчетные и экспериментальные методы для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени, максимального давления взрыва и скорости его нарастания для пылевоздушных смесей;
- определить расчетным и экспериментальным путем нижний концентрационный предела распространения пламени, максимальное давление взрыва и скорости его нарастания для разных производителей муки;
- дать оценку точности расчетному и экспериментальному методу;
- разработать методические указания к лабораторной работе по определению нижнего концентрационного предела распространения пламени, максимального давления взрыва.

Объект исследования: мука разных производителей.

Предмет исследования: взрывопожароопасные свойства муки разных производителей.

Научная новизна: состоит в установлении сходимости результатов расчетным и экспериментальным методами и выявлении взрывопожароопасных показателей муки разных производителей.

Апробация результатов исследования: результаты работы представлены на XXI Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием, ИрНИТУ г. Иркутск (апрель 2016 г.), XX аспирантско-магистерского семинара, посвященного «Дню энергетика», КГЭУ г. Казань (декабрь 2016 г.), IV всероссийской студенческой конференции

(с международным участием) «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи», ЮУрГУ г. Челябинск (апрель 2017 г.).

Публикации: по результатам диссертации опубликованы четыре статьи в сборнике: «Проблемы безопасности современного мира» сборник материалов XXI Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием, ИрНИТУ г. Иркутск (апрель 2016 г.) с. 223–225, материалы докладов XX аспирантско-магистерского семинара, посвященного «Дню энергетика», КГЭУ г. Казань (декабрь 2016 г.), с. 306–308, «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи» сборник материалов IV всероссийской студенческой конференции (с международным участием), ЮУрГУ г. Челябинск (апрель 2017 г.), с. 179–182; с. 189–192.

Структура: Диссертация состоит из введения, 4 глав, библиографического списка и приложения.

Объём диссертации: содержит 105 страницы машинописного текста, 13 таблиц, 29 рисунков. Библиографический список включает 50 источников.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Отечественный рынок имеет обширные сырьевые ресурсы для производства муки пшеничной, ржаной и других зерновых культур. Поэтому в послевоенные годы в стране во всех ее регионах, из-за потребности в переработке зерна, стали строиться мукомольные заводы, комбикормовые производства и сеть заготовительных элеваторов. Организация производства взрывопожаробезопасности мукомольных производств обеспечивается модернизацией оборудования, автоматизацией производства, контролем над основными технологическими параметрами процесса, соблюдением требований пожарной безопасности взрывопожароопасного производства. Однако на сегодняшний день ошибки при проектировании процесса и нарушения требований пожарной безопасности приводят к авариям при эксплуатации данного производства. Наиболее опасными являются: мукомольные, комбикормовые заводы, элеваторы и другие производства, связанные с переработкой растительного сырья [8].

1.1 Статистика и причины пылевых взрывов

Самым опасным последствием из-за образования пыли является пылевой взрыв. Ежегодно все предприятия данного типа подвержены пожару и полевому взрыву, который по своей мощности может разрушить все производства. Основным источником к возможному взрыву является трение зерен, во время любого перемещения зерна. При маленькой концентрации обладает колоссальной разрушительной силой.

Взрыв пыли происходит мгновенно и приводит к увеличению температуры и давления. Основные факторы, из-за которых происходят пылевые взрывы:

- достаточное количество воздуха;
- зерновая пыль на полу, в оборудовании, в трубах, внутри конвейеров и норий;

– при работающем оборудовании есть взвесь зерновой пыли в воздухе, особенно в зонах приемки, перемещения или переработки зерна;

– присутствуют различные источники возгорания (короткое замыкание, статическое электричество, перегрев подшипника, сход ленты, засыпанная нория, сварочные работы, резка металла и т.д.).

Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) для пшеничной пыли составляет от 30 гр/м³. Для кукурузной муки, например, НКПР составляет 83 гр/м³, для ржаной – 67 гр/м³, для ячменной – 33 гр/м³. Отсюда следует, что работа с пшеничной мукой является более опасной, по сравнению с другими [2,8].

Одной из главных причин разрушения производства является вторичный взрыв, который приводит к более серьезным последствиям. В природе все взрывы с пылями принято делить на первичные или повторные. Первоначальные взрывы пыли происходят внутри установки процесса или подобных вложений. Вторичные взрывы пыли – результат накопления пыли внутри фабричного, зажигаются первоначальным взрывом, приводя его в более опасный неконтрольный взрыв внутри рабочего места.

Согласно статистическим данным за последние двадцать лет в России произошло 195 взрывов. Пик аварийности пришелся на 70–80-е годы прошлого столетия. Известны крупные взрывы, произошедшие в г. Твери на комбинате хлебопродуктов (1981 г.), на Ачинском комбинате хлебопродуктов (1982 г.), в г. Иркутске на элеваторе (2013).

Из-за опасности данного производства в 1990 году стали проводить государственный надзор. Более 10 тысяч производства стали подвергнуты этому надзору.

В самые короткие сроки стали решаться организационно-правовые вопросы данной деятельности, что стало приводить к непрерывному контролю над взрывопожароопасными производствами [28].

Для того чтобы предотвратить дальнейшие взрывы, необходимо было изучить все возможные причины их возникновения. Вследствие чего была

разработана база данных (банк), которая включала в себя все взрывы, которые происходили на производствах, и создавалась статистика и ее обработка.

По материалам следствий 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.

Согласно статистическим данным, 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, при обработке зерна (прием, обработка (очистка и сушка), хранение, внутренние перемещения, отпуск). Велика опасность мукомольного производства в результате помола зерна (единичный и повторительный) (22 %).

Обобщая статистические данные, можно сказать, что основными причинами взрывов являются (рисунок 1):

- нарушения правил эксплуатации или неисправность оборудования (34 %);
- проведение огневых работ с нарушением требований пожарной безопасности (26 %);
- самовозгорание сырья и взрывы продуктов его переработки (22 %);
- нарушение правил эксплуатации зерносушильных установок (12 %);
- нарушение правил пожарной безопасности (6 %), в том числе требований взрывобезопасности при тушении пожаров на опасных производственных объектах.

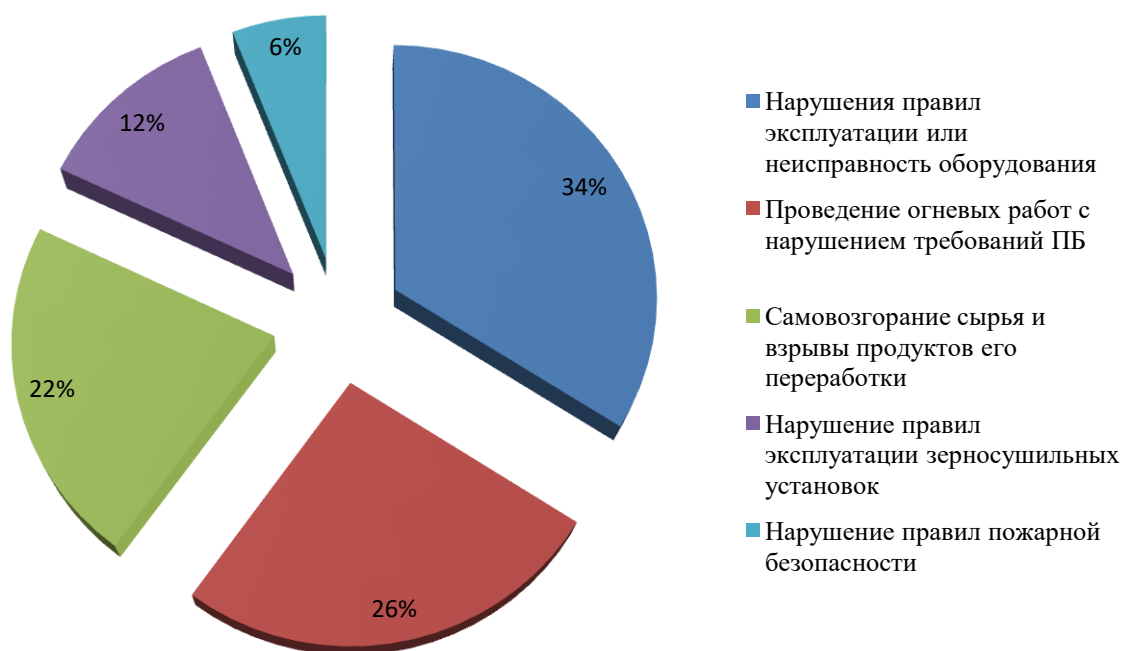


Рисунок 1 – Основные причины взрывов

Еще одной особенностью стало то, что взрыв пылевоздушной смеси зачастую бывает не один. В основном данное явление происходило на предприятиях по хранению и переработке растительного сырья. Это, как правило, несколько чередующихся друг за другом взрывов. Они могут происходить в других помещениях, а иногда и на других объектах, которые соединены между собой едиными технологическими коммуникациями, но при этом всегда присутствует первичный взрыв.

Наибольшее количество первичных взрывов происходит в оборудовании (около 50 %) и в емкостях (силосах и бункерах) – свыше 40 %. Из оборудования наиболее опасными являются нории, зерносушилки, вальцовые станки, дробилки, конвейеры и вентиляторы [8].

Нория зерновая предназначена для вертикального транспортирования зерна и комбикормов без тары. Нории применяются на зерноперерабатывающих предприятиях. Нория изготавливается по категории 1 ГОСТ 15150 в

климатическом исполнении «У», с отверстием для установки взрыворазрядного устройства (рисунок 2).

Существуют два наиболее распространенных типа норий: тип «Н» и тип «НЦ». Они имеют различные технические характеристики. В зависимости от типа нории существуют разные параметры оборудования. Название каждой модели вмещает число, которое означает производительность по перемещению зерна при 1,75 т/м³ за час 5, 10, 20, 50, 100, 175 тонн.

Модель типа «НЦ» имеет производительность выше, чем у ковшовой нории типа «Н». Каждому типу модели принадлежат свои габариты оборудования. Ленту для зерновой нории типа «Н» изготавливают из резины и ткани, тогда как в некоторых моделях типа «НЦ» тяговым органом является пластинчатая цепь. Скорость передвижения ленты и ее ширина зависит от модели оборудования, что касается цепи, то эти показатели являются одинаковыми для всех моделей. Таким образом, лента для зерновой нории может быть шириной от 130 мм, а ее скорость передвижения от 1,48 м/сек [6,15].

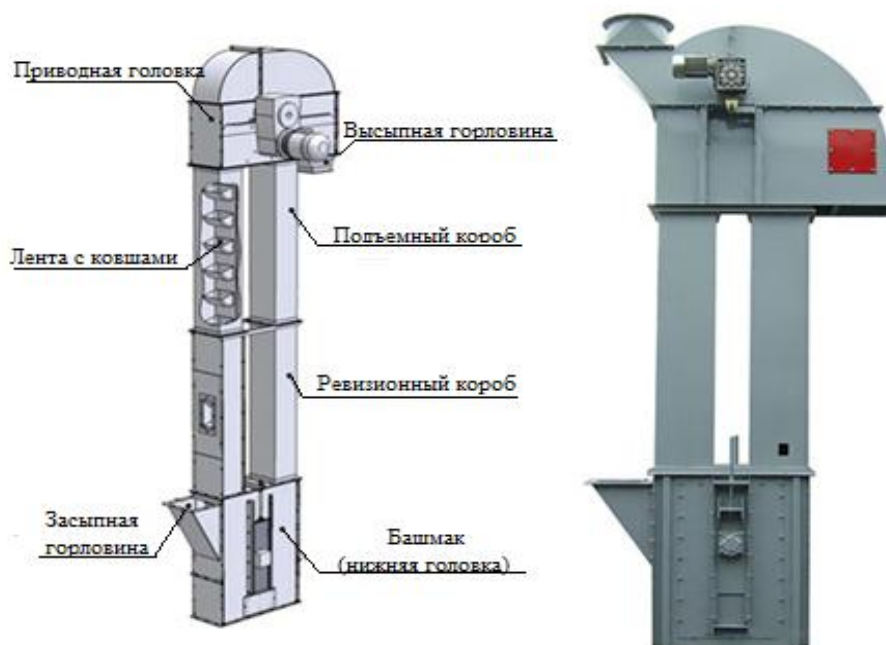


Рисунок 2 – Нория зерновая

Зерносушилка – приспособление (оборудование) для сушки зерновых, масличных и зернобобовых культур.

Зерносушилка – устройство для стабильной промышленной обдувки зерна. Основная функция заключается в сушке зерновых и масличных культур, т.е. снижение влажности продукта до значений, при которых продукт (зерно) можно безопасно заложить на длительное хранение, без опасения возможности возникновения очагов самосогревания. При правильно подобранном режиме сушки происходит физиологическое дозревание зерна и улучшение его качества (рисунок 3).



Рисунок 3 – Зерносушилка на элеваторе

Вальцовые станки используются для измельчения зерна и промежуточных продуктов размола пшеницы и применяются в составе комплекта оборудования на мукомольных предприятиях с увеличенным выходом муки высших сортов (рисунок 4).

На современных мукомольных заводах используют вальцовые станки двух типов: для заводов с механическим транспортом – станки «ЗМ» и для заводов с пневматическим транспортом – станки «БВ».

Вальцовые станки состоят из двух параллельно работающих секций, разделенных продольной перегородкой. В каждой секции установлена пара вальцов, питающий механизм, привалью-отвальное устройство, механический или гидравлический автомат, устройство для вывода продукта и привод [6,15].



Рисунок 4 – Вальцовый станок

Конвейер предназначен для транспортирования зерна на элеваторах, комбикормовых и зерноперерабатывающих предприятиях.

Сущность изобретения: винтовой конвейер для транспортирования зерна содержит привод, выполненные из трех полос с цилиндрическими обечайками направляющие элементы, установленные с возможностью вращения, и загрузочным приспособлением (рисунок 5) [6].

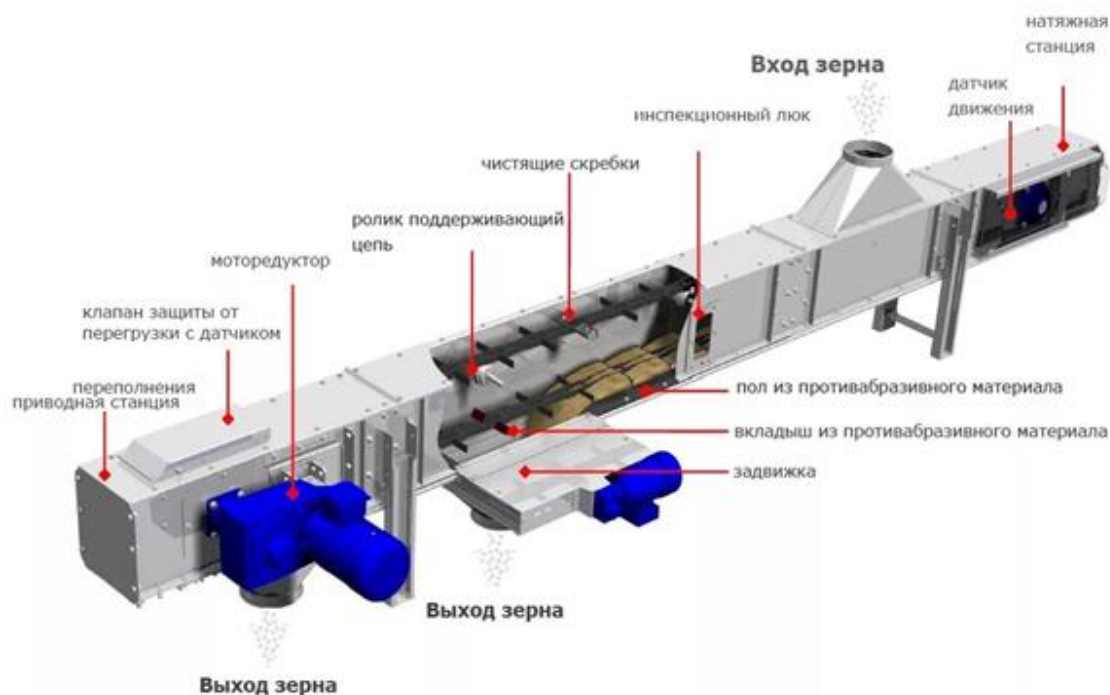


Рисунок 5 – Конвейер для зерна

Большинство аварий заканчивалось тем, что разрушалось практически все оборудование, здания или сооружения. Наиболее подвергались разрушению –

элеваторы (45 %), мукомольные заводы (35 %), а также комбикормовые заводы (20 %).

Благодаря расследованиям, были установлены основные причины данных 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.

Главной причиной было то, что элеваторы и мельницы строились без какого-либо учета в плане взрывобезопасности. Причина в том, что до определенного времени, они считались пожароопасными предприятиями. Никакая взрывозащита не рассматривалась. Комбикормовая отрасль стала развиваться чуть 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 [20,23].

Взрывы пыли происходили не только в России, но и в зарубежных странах, у которых уже имелся опыт в предупреждении аварий данного типа. Стала изучаться 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 опасных производственных объектов по хранению, переработке и использованию сырья в агропромышленном комплексе (РД 14-568-03) и др [42].

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. Конечно, снижение числа возникновения взрывоопасных ситуаций связано с некоторым падением производственных мощностей в этот период. К примеру, в период до 90-х годов объем производства составлял 20,7 млн.т. муки в год, а в последней декаде XX-го века – начале XXI – уже около 9,7 млн.т. муки.

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 [29,46].

1.2 Методы предупреждения взрывов

1.2.1 Ограничение доступа кислорода

В элеваторах и зернохранилищах всегда присутствует кислород, который является компонентом окружающей среды. Известным методом для уменьшения концентрации кислорода с 21 % до 8–10 % является замена воздуха инертным газом. Это делается для того чтобы концентрация кислорода стала меньше, что в свою очередь позволит полностью исключить такой показатель, как распространения пламени.

Данный метод актуален для систем среднего размера. Элеваторы же нельзя считать полностью закрытыми системами, поскольку они имеют значительные размеры и высокую производительность транспортирования. Эти показатели затрудняют нахождение необходимого количества инертного газа для эффективного предупреждения взрывов [46].

1.2.2 Устранение пыли

Наибольшая вероятность образования зерновой пыли это предприятие по хранению и переработке зерна. Там концентрация пыли является наиболее максимальной.

Пыль образуется в основном в:

- самотеках и желобах, большое количество пыли образуется при высокой скорости продукта в длинных самотеках;
- приемных бункерах при разгрузке вагонов и автомобилей самотеком;
- отпусковых трубах в автомобилях, вагонах, океанских судов и барж;
- ленточных конвейерах, перемещающиеся с чрезмерными скоростями, поднимающие пыль вследствие сноса ее ветром и ударов на роликсопорах и в точках перегрузки;
- нории, которые являются мощными источниками пыли, особенно вблизи башмака и в точках разгрузки;
- поворотных и маятниковых распределительных трубах в точках загрузки и разгрузки;
- зерноочистительных машинах, перемещающих зерно;
- весовых устройствах с периодической загрузкой и выгрузкой бункеров;
- зонах заполнения силосов и галерей, где зерно падает в силосы.

Пыль является горючим для взрыва. Чтобы избежать взрыва, необходимо полностью исключить образования пыли в операциях. Сложность заключается в том, что каждый раз при изменении движения зернового потока, падении его из силоса, автомобиля или бункера или в них происходит истирание небольшой

части внешней поверхности зерновки, образуя новые частицы пыли. Фактор способный взрывать пыль, является полное выделение аспирационной пыли или возврат зерновой пыли в потоке зерна.

Опасность первичного взрыва возрастает, если в поток возвращаются мелкие и сухие частицы. Данную проблему можно решить путем введения двухэтажной системы: первый этап – применение циклона, в котором выделяются более крупные частицы и возвращаются в зерновой поток, и второй этап – применение фильтра, в котором выделяются более мелкие и более сухие частицы размером менее 20 мкм. Если использовать данную систему, то потеряно будет всего небольшое количество пыли. Употребление эффективной, хорошо спроектированной и правильно эксплуатируемой аспирационной системы без возврата мелких и сухих частиц в зерновой поток – не единственный, но один из очень важных шагов в предотвращении взрывов пыли [28].

1.2.3 Устранение источников зажигания

Источники зажигания всегда присутствуют на предприятиях по хранению и переработке зерна. При обычной работе всегда будут такие источники зажигания, как трение в движущихся узлах и образование статического электричества. Остальные могут произойти в результате аварийной работе (электрические и механические повреждения). Большое число источников зажигания, отличающихся разными температурами, энергией, продолжительностью и т.п., их удобно сгруппировать как электрические, механические и другие источники.

Освещение является одним из источников зажигания.

На производстве часто используются лампы с гибким шнуром, т.к. освещение в отдельных частях здания бывает недостаточным. В основном такие лампы используют для освещения силоса элеватора или же бункера.

Чтобы наиболее обезопасить освещение силосов, бункеров или запыленных мест следует пользоваться только лампами, которые питаются от

батареи. Это связано с тем, что теплота от батареи выделяется в меньших количествах из-за низкой силы тока, что позволяет обезопасить гибкий шнур. Имеются лампы, которые способны неплохо освещать силос при их расположении над люком. Искры способны вызвать взрыв пыли, которые появляются при коротком замыкании в электросистемах (плавкие вставки, перегруженные кабели, плохое соединение кабелей и т.д.). Конструкция оборудования должна иметь особые меры предосторожности, т.к. классифицируются как опасные. Каждый узел необходимо полностью закрывать или же использовать пыленепроницаемые огнестойкие корпуса. Полностью закрываются электродвигатели, которые при полной нагрузке работают при температуре около 80 °С. Прокладка всех электрических проводов должна соответствовать спецификациям и требованиям [12,21].

Защита оборудования происходит путем выбора теплового реле и размера вставки. В случае неправильного выбора вставки или неверно отрегулировано тепловое реле, оборудование будет мало защищено и может случиться пожар. Основными причинами перегрева двигателя является: 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. Температурный предел электродвигателя не должен быть больше 70–80 °С, при более высоких температурах происходит воспламенения смазки подшипников, из-за чего сгорает обмотка двигателя. В зависимости от применения современные электродвигатели снабжают датчиками температуры, которые отключают электродвигатель при повышенной температуре.

Пыль или зерно способно воспламениться от теплоты, которая выделяется в результате работы электрического радиатора, горячей плиты, электрической кофеварки и т.д. поэтому использования этого оборудования в зерновых элеваторах, должно бы ограничено жесткими правилами, а по возможности полностью исключается.

Еще одним потенциальным источником являются небольшие электрические инструменты. При транспортировке зерна образуется статическое электричество, этот заряд нужно 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. Все конвейерные ленты и транспортное оборудование должны быть изготовлены из материалов, обладающих хорошей электропроводностью. Низкая относительная влажность уменьшает влажность зерновой пыли, тем самым снижая температуру и необходимую энергию зажигания [21].

Механические источники зажигания возникают при трении норийных и конвейерных лент, в результате происходит выделение теплоты. Наиболее опасный источник зажигания является пробуксовка на приводном барабане. Он способен взрывать зерновую пыль. Это связано с тем, что лента недостаточно натянута, изношена или отсутствует 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.

Несоосное расположение норий или конвейерной ленты, смещающих и истирающих о различные ограждения и опорные элементы, являются потенциальными источниками зажигания. Нужен соответствующий зазор для согласования движения конвейерной ленты. Смещение ленты устраняется путем установления устройств по обнаружению 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. Еще одним источником зажигания является перегревание и искрение в результате механического повреждения вращающегося оборудования. Поврежденные ковши, зубчатые передачи, крыльчатки вентиляторов, муфты, цепные передачи и заклиненные барабаны (роликоопоры) являются потенциальными источниками зажигания. Только хорошая конструкция, периодический контроль и регулярное ремонтное обслуживание могут уменьшить эти опасности. Камни и металлические примеси удаляются более тщательно. Они 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.

Перегрев подшипников происходит в ряде случаев, но 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. Нужно осуществлять периодический контроль вибрации. Подшипники необходимо устанавливать на наружной стороне кожуха. При расположении подшипников внутри их невозможно станет проверить, следовательно, в таком месте будет скапливаться

пыль. Также необходимо осуществлять правильную смазку, если смазки много, то происходит нагрев. Использование автоматической системы поддачи смазки осуществляется очень осторожно, в связи редкой проверкой и 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 обложены 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 уходом [21,40].

Еще одним источником зажигания является пробуксовка клиновидных ремней на шкивах. Основные причины пробуксовки это: 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.

В молотковых дробилках и измельчителях одним из источников зажигания являются завал, перегрев или удары посторонним материалом, в ходе чего происходит искрение. К перегреву приводят сита с неочищенными отверстиями, которые будут удерживать измельченный продукт, и уменьшать количество воздуха. Система термодатчиков должна быть надежна. В дробилках и измельчителях устанавливают магниты для удаления металлов, мелкие же примеси удаляются с помощью очистительных машин. 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 [12,21].

Еще одним источником зажигания являются работы с открытым огнем. Сварка или газовая резка приводят ко многим несчастным случаям. Поэтому исключение этой опасности, имеет огромной значение. Управляющим элеваторами, ремонтному персоналу и подрядчикам должны быть известны опасности огневых работ и меры, принимаемые при несчастных случаях. Есть ряд мер безопасности позволяющие снизить опасность, например, удаление всех горючих материалов и пыли в непосредственной близости от места проведения работ, наличие соответствующего оборудования для тушения пожара и смачивание полов. 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 [4,21,40].

1.2.4 Методы защиты от взрывов

В случаи если взрыв по каким-либо причинам нельзя устранить, тогда стоит свести к минимальной степени разрушения. К сожалению, уменьшить вероятность возникновения взрыва до нуля невозможно, даже если используется хорошая конструкция и постоянно проводятся ремонтное обслуживание. Поэтому предусматриваются меры защиты непосредственно от взрывов. На данный момент существует четыре метода: «сдерживание», взрыворазряднение, введение инертного газа и автоматическое взрыво-подавление. Проанализируем кратко каждый из этих методов [8].

1) Идея «сдерживания», или обеспечение сопротивления конструкции давлению, заключается в том, что оборудование должно быть довольно прочным, чтобы выдержать максимальное давление, создаваемому при взрыве, без разрушения или проявляющихся деформации или повреждений. Все воздуховоды, связанные с оборудованием, должны быть достаточно прочные. В

данном методе необходимо устанавливать пневмоклапаны, чтобы предотвратить распространения пламени, которое способно перейти с одного оборудования на другое. Недостаток данного метода заключается в том, что он используется для систем небольших размеров, что является непрактичным для элеваторов [8].

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.

Конструкция защищаемой системы или емкости должна иметь свойства, способные противостоять обусловленному давлению при взрыве. Результативный сброс давления при взрыве в длинных воздуховодах и емкостях возможен только в том случае, если подобные устройства устанавливаются по всей их длине, через короткие промежутки. Если взрыворазрядители устанавливаются с боковой стороны, то при взрыве должна отбрасываться еще и верхняя крышка. 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 [8].

Рекомендации для конструкций взрывозарядных устройств:

– взрыворазрядные трубопроводы, которые выходят наружу, необходимо усилить и должны быть равнопрочные с теми конструкциями, которые применяют для вентилирования оборудования;

– взрыворазрядные трубопроводы делают, если это возможно, короткими, и их угол поворота не допускаются быть более 22 °;

– взрыворазрядные трубопроводы направляются так, чтобы они не наносили персоналу повреждений вследствие истечения из них продуктов взрыва;

– на концах взрыворазрядных трубопроводов ставят специальные сетки, позволяющие не проникать птицам, и предусмотреть защиту в результате атмосферных осадков;

– по всей длине норий и конвейером необходимо устанавливать взрыворазрядители;

– взрыворазряжение в силосах ставят на верхние части;

– матерчатые фильтры необходимо оснащать взрыворазрядителями и ставить снаружи здания [26,43].

3) Третий метод состоит в замене определенной части кислорода воздуха инертным газом (инертизация), в результате образуется атмосфера, содержащая минимальное количество кислорода, которое не поддерживает процесса горения. Устранение всего кислорода необязательное, в основном пыль не может быть взрывоопасной при концентрации кислорода менее 8 %. Для более точного определения кислорода проводят экспериментальными методами, т.к. максимальное допустимое содержание кислорода в основном зависят от материала способного гореть. Для поддержания инертизации используют следующие инертные газы (ингибиторы): азот, диоксид углерода и производные галогенов. Наиболее часто используют азот и диоксид углерода. Некоторые огнетушащие порошки (фосфат аммония, карбонат 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.

Данный метод защиты для предприятий по хранению и переработке зерна неэффективный, поскольку имеет большие объемы и необходимость контролировать состав газа в различных точках. Вероятно, 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 [26,8].

4) Автоматическое подавление взрыва – основан в быстром подводе инертного агента, тушащий фронт пламени после получения сигнала об избыточном давлении от датчика давления. Пламя при загорании пыли перемещается на начальных этапах медленно, и первое повышение давления, возможно, обнаружить быстро, таким образом, может быть включена система подачи огнетушащего вещества, что способствует подавлению взрыва до того, как он достигнет своей полной силы и повысит давление до опасного уровня. Процесс обнаружения и дальнейшее его подавление осуществляется в течение тысячных долей секунды. Для некоторых норий данная система является достаточно эффективной.

В качестве средства для подавления взрыва часто используют газы – производные галогенов. Также используются и другие методы подавления взрыва. Используют огнетушащий порошок на основе фосфата аммония, который хранится в стальных баллонах и под давлением азота. Распределение огнетушащего порошка по всему защищаемому замкнутому объему осуществляется специальными соплами [8].

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.

1.2.5 Технология предотвращения образования зерновой пыли

Южная и Северная Америка, Западная Европа используют технологию по предотвращению образования зерновой пыли, именно в плане хранения и

переработки зерна, которая на данный момент времени является одной из самых эффективных и дешевых. Технология заключается в том, что идет распыление подсолнечного рафинированного дезодорированного масла прямо на зерно в потоке. Благодаря обволакиванию зерна масляным аэрозолем идет прекращение или уменьшения трения друг о друга зерен при их перемешивании. В результате данного метода уменьшается количество зерновой пыли в рабочей зоне в пределах 75–90 %. Такая технология не направлена на связывание зерновой пыли, главная ее цель предотвратить трения зерна, ведь причиной запыленности является как раз токи их трение. При снижении или полном устранении данного явления, полностью решается проблема запыленности, как помещения, так и оборудования. Количество зерновой и сорной пыли, попадающее на предприятие «с поля» является абсолютно незначительным. Используется подсолнечное масло, потому что стоимость невелика и затраты являются несущественными. В разных странах используется разное масло, так в странах Южной Америки используется соевое, а в США предпочтение, так как имеет наименьшую стоимость, отдается минеральному маслу, которое имеет разрешительные документы для прямого контакта с продуктами питания.

При обработке зерна маслом в самом начале его технологического маршрута, полностью исключается дальнейшее его запыления путем перемешивания и последующей очистки, сушки, хранения или переработки. Еще один плюс заключается в том, что зерно в течение 4–6 месяцев не утрачивает своих свойств. Для предотвращения в образовании пыли используют 0,2 кг масла на 1 тонну зерна, что является совершенно дешево. 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 данной концентрации масла в зерне визуально не определить. Обработанное зерно не оставляет «жирного следа» на технологическом оборудовании, и при концентрации масла в 0,2 кг на 1 тонну оказывает меньшее влияние на ленты конвейерных маршрутов, чем обычный подсолнечник. При обработке

пивоваренных сортов ячменя, данный метод не подходит, так как гасит «пеногасящие» свойства масла.

1.3 Технология мукомольного производства

Для выработки муки используют мельницы и мелькомбинаты. Это крупные сооружения, у которых есть подъездные пути, элеваторы, лаборатории для анализа качества сырья и готовой продукции.

В основном такие мелькомбинаты строятся в 6 этажей, на которых предполагаются подготовительное, размольное и выбойное отделения. С помощью пневмотранспорта или ковшового элеватора осуществляется транспортировка продуктов снизу вверх, в обратном направлении используют метод самотека. Переработка зерна на данных сооружениях в основном механизирована [49,50].

1.3.1 Классификация и подготовка зерна к помолу

Перед началом помола устанавливают, какую муку необходимо получить. Затем идет процесс формирования партий зерна. С помощью шнека идет смешивание зерна, которое поступает с различных бункеров, далее по пневмотранспорту оно подает уже на автовесы.

Зерно подвергается первичной очистке с помощью воздушно-ситового сепаратора. Там происходит просеивание зерна через сита, в результате чего все примеси, которые будут мельче, легче и крупнее зерна отделаться. Данная очистка достигается путем продувания зерна потоком воздуха.

Металлические же примеси можно удалить с помощью магнитных сепараторов. Следом идет камнеотборочная машина, которая позволяет извлекать минеральные примеси. Отделение семян дикорастущих растений проводят на триерах - овсюго- и куколе-отборочных машинах [39].

Куколь – ядовитый сорняк, в зерне до его очистки должно быть не больше 0,5 %, непосредственно перед помолом – меньше 0,1 %. Для отделения куколя используют сита, которые ставятся вертикально. Отверстия для сит берут полусферической либо кормаобразной формы. Данным методом удаляется до 75 % семян, путем кругового движения сит, весь сорняк попадает в карманы.

Овсюг – сорняк, из-за которого повышается зольность смеси. Он удаляется также ситами, но с продолговатыми отверстиями. Их длина больше чем у зерна и ширина примерно равна ширине зерна. Данный метод позволяет очистить культуру на 60–65 %.

Дальнейший этап – очистка зерна с помощью магнита. Обоечная машина позволяет обработать зерно. Также удаляется пыль, различная грязь, бородка и оболочка. Процесс заключается в механическом воздействии на зерно и трение зерен друг о друга и о поверхность рабочих органов машины.

Различают «мягкую обойку» и «жесткую обойку». Бойка зависит от поверхности рабочего цилиндра. При «мягкой обойке» цилиндр сделан из стали, а при «жесткой обойке» из абразивного материала. Пыль образуется и отвеивается поток воздуха.

Магнитный сепаратор отделяет магнитные примеси в зерне, после чего зерно промывается, такой метод используется для приобретения сортовой муки. При мойке рабочие органы машины тщательно мешают зерновую массу: на дне ванны оказываются минеральные примеси, легкие же всплывают и удаляются потоком воды. Длительность мойки – 4–6 с., при этом эффективно очищается поверхность зерна, не нарушая целостности оболочек, зольность понижается на 0,01–0,04 %, влажность становится больше на 2,0–4 %, минеральная примесь полностью удаляется, количество микроорганизмов на поверхности зерна уменьшается в 4–5 раз [7].

Увлажнение и кондиционирование используют для направленного изменения технологических свойств зерна и создания оптимальных условий переработки его в муку. Кондиционирование следует после мойки зерна. Режим процесса определяется температурой помещения и стекловидностью

эндосперма: в эндосперм стекловидного зерна влага проникает медленнее, поэтому его отволаживают дольше. Применяют холодное кондиционирование: при температуре 18–20 градусов 3–16 часа; горячее: 40–55 градусов 1–5 часа и скоростное после предварительной обработки паром.

В процессе кондиционирования оболочки зерна становятся эластичными, легче отделяются от зерна, меньше измельчаются при помоле. В зерне под действием воды и ферментов протекают сложные структурно-механические и биохимические процессы, позволяющие увеличить выход муки высших сортов и улучшить ее хлебопекарные достоинства. Образование микротрещин снижает плотность и твердость зерна, облегчает его разрушение при размоле и способствует получению более однородной муки по размеру частиц. Происходит перераспределение от наружных слоев к центру витаминов, что улучшает пищевую ценность муки. Биохимические изменения приводят к некоторому осветлению муки, увеличивают количество и улучшают качество клейковины. В результате объемный выход хлеба увеличивается на 10–15 %, мякиш становится более светлым, лучше и равномернее разрыхленным, улучшается его вкус и аромат.

После кондиционирования зерно обрабатывается на обоечной машине с образивным цилиндром, подвергается пневмоаспирации, сепарации на зерновых сепараторах с целью калибровки зерна, обработке на щеточной машине [49,50].

Образовавшиеся при этом пылевидные частицы отделяются аспирированием, а зерно повторно увлажняется для придания эластичности оболочкам, что способствует их более полному удалению при размоле и препятствует попаданию в муку. При отволаживании следует учитывать, что в процессе получения муки теряется около 0,5 % влаги, которую нужно компенсировать дополнительным увлажнением зерна.

Подготовленное зерно взвешивается и направляется в размольное отделение. Мойка зерна при обойном помоле не производится, так как достаточно дорогая операция из-за большого количества воды.

Контроль качества подготовки зерна к помолу при передаче его в размольное отделение проводит лаборатория мелькомбината. При этом определяется содержание сорной примеси, которое не должно превышать 0,4 %, предельно допустимое количество вредной примеси 0,05 %, в том числе семян вязаля и горчица 0,04 %. В зерне пшеницы и тритикале допускается зерновой примеси не более 4 %, в том числе проросшего зерна не более 3 % [23,37].

1.3.2 Размол зерна и получение муки

Возможность получения сортовой муки, состоящей практически из одного эндосперма, обусловлена различными структурно-механическими свойствами составных частей зерна. Механическая прочность оболочек в 12–20 раз больше, чем эндосперма. При кондиционировании эти отличия существенно увеличиваются. Основными принципами, положенными в основу измельчения зерна и работы измельчающих машин, являются сжатие и сдвиг.

Для первичного дробления зерна используют вальцевые станки, рабочими органами которых являются два чугунных вальца, вращающиеся навстречу друг другу с разной скоростью. Поверхность вальцов может быть рифленой, гладкой, шероховатой в зависимости от места и роли вальцевого станка в технологическом процессе. Расстояние между вальцами также меняется в зависимости от этапа помола. На первом станке, на который подается целое зерно, оно максимально, затем следует постепенное уменьшение, глубина рифлей также уменьшается от первой системы к последней. Зерно, попадая в зазор между вальцами, дробится на частицы различной крупности.

После каждого вальцевого станка продукты измельчения просеиваются на отсевах. Отсев представляет собой собранный в корпусе набор сит, осуществляющий сортировку продуктов измельчения по крупности. В одном отсеве собраны 15–22 сита, размер ячеек которых уменьшается сверху вниз. Нижнее сито служит для выделения муки.

Вальцевый станок и обслуживающий его рассев называют системой. Системы с рифлеными вальцами служат для грубого дробления зерна и превращения его в крупку; их называют дранными (крупочными). Вальцы с шероховатой и гладкой поверхностью предназначены для растирания крупок в муку. Крупка, состоящая из чистого эндосперма, превращается в муку на размольных системах. Если же крупка образована оболочкой с прилегающим к ней участком эндосперма (пестрая крупка, сrostки), то ее измельчают на шлифовочных системах, стараясь раздробить эндосперм и сохранить целостность оболочек [22].

Получаемые на рассевах продукты дробления зерна достаточно однородны по размерам, но отличаются по добротности – содержанию чистого эндосперма. Их подвергают дополнительной сортировке по плотности на ситовеечных машинах – процесс обогащения крупок. Если смесь частиц встряхивать с одновременным продуванием воздуха, то произойдет расслоение смеси по плотности частиц, а наиболее легкие будут витать над смесью. При этом тяжелые объемные крупки преодолевают сопротивление потока воздуха и проходят сквозь сито, более легкие идут сходом, а самые легкие отделяются в виде отосов. Наиболее тяжелые крупки состоят практически из одного эндосперма, средние содержат его меньше, а в легких находится большое количество оболочек. Продукты, богатые эндоспермом, направляются на размольные системы, богатые оболочками – на шлифовочные системы, а затем на вымольные. Продукты измельчения разделяются по крупности и добротности и вновь направляются на соответствующие системы. Наиболее мелкие частицы отбираются в виде муки [47].

1.3.3 Классификация помолов зерна

Для получения ржаной, пшеничной или ржано-пшеничной обойной муки пользуются простым повторительным помолом (рисунок 6). Выполняется на 3–4

драных системах. В результате данного помола получают 95 % ржаной муки и 2 % отрубей или 96 % пшеничной муки и 1 % отрубей (рисунок 7).



Рисунок 6 – Классификация помолов зерна

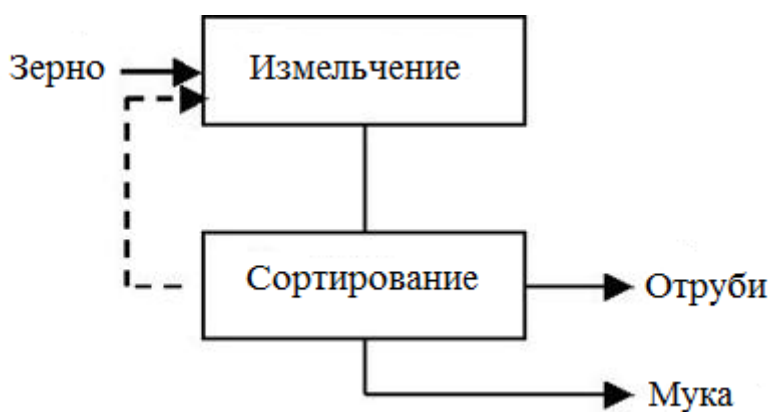


Рисунок 7 – Простой повторительный помол

Чтобы получить сортовую (сеяную и обдирную) муку и тритикал в обдирную муку принимают сложный повторительный помол без обогащения крупок. Используют односортовый помол с выходом 87 % обдирной муки; односортовый помол ржи с выходом 63 % сеяной муки; двухсортовый помол с выходом 15–30 % сеяной муки и 50–65 % обдирной, общий выход муки 80 % (рисунок 8).

Технология схемы односортового помола состоит из 4–5 драных систем и 1–2 размольные системы, основное количество муки извлекается в драном процессе.

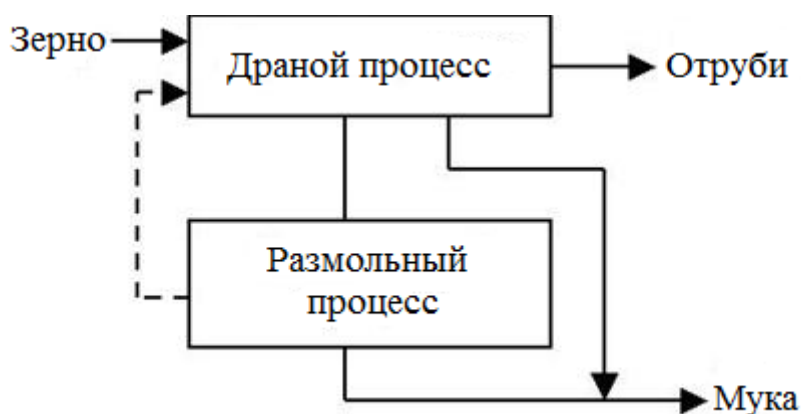


Рисунок 8 – Сложный повторительный помол

При двухсортном помоле задействовано 5 драных и 3 размольных системы. Сеяная мука отбирается с первых трех драных и двух размольных систем, сам контроль сеяной и обдирной муки ведется отдельно.

Сложный повторительный помол с сокращенным процессом обогащения крупок, применяется для односортного помола пшеницы в муку 2 сорта с выходом 85 % или двухсортного помола с общим выходом муки 75 %, получая 50–60 % муки 1 сорта и 18–25 % муки 2 сорта. В технологическом процессе включено 5 драных систем, 5 размольных, 3 ситовечных и 2 шлифовочных системы (рисунок 9).

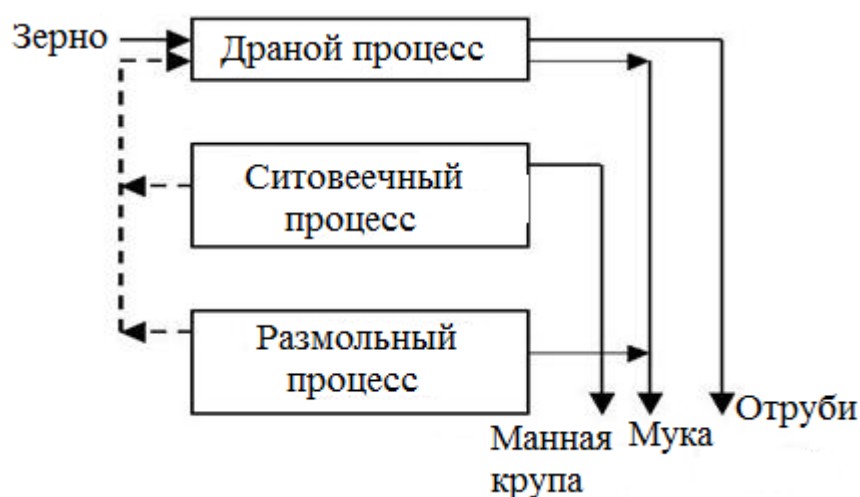


Рисунок 9 – Сложный повторительный помол с сокращенным процессом обогащения крупок

Сложный повторительный помол с развитым процессом обогащения крупок по этой схеме осуществляется основная группа помолов в мукомольной промышленности. Возможны следующие варианты помолов пшеницы: односортовый в муку 1 сорта с выходом 70 %; двух- и трехсортной с выходом хлебопекарной муки 75 и 78 %, помолы в макаронную муку с выходом от 72 до 78 % (рисунок 10).

В драном процессе сначала проводят предварительное измельчение зерна таким образом, чтобы превратить крахмалистый эндосперм в крупку и дунсты, при этом сохраняется оболочка в виде крупных частиц. Данный процесс включает 5 систем, причем 2, 3 и 4 разделяют на крупные и мелкие. Общее извлечение продуктов в драном процессе около 80 %, в том числе не более 20 % муки. На первых 3 драных системах извлекаются крупочные продукты с высоким содержанием эндосперма (продукты первого качества), на 4 и 5 – мелкая крупка и дунсты (высокозольные продукты второго качества).

Извлеченную в драном процессе крупку направляют на ситовые машины для повышения ее добротности по чистому эндосперму. На обогащении крупок занято 9 ситовых систем. Основная масса крупок поступает далее на шлифовочные системы, а затем на повторное обогащение в ситовых машинах.

Крупка в шлифовочные системы поступает с большим количеством сростков. Шлифовочный процесс содержит 4–5 систем, одна из которых выделена для шлифования сходовых продуктов. Задача шлифовочного процесса состоит в подготовке крупки к повторному обогащению в ситовых машинах и измельчению на размольных системах.

Размольный процесс заключается в интенсивном измельчении обогащенной мелкой крупки и дунстов в муку. Она содержит 9–10 размольных и 1–2 сходовых системы.

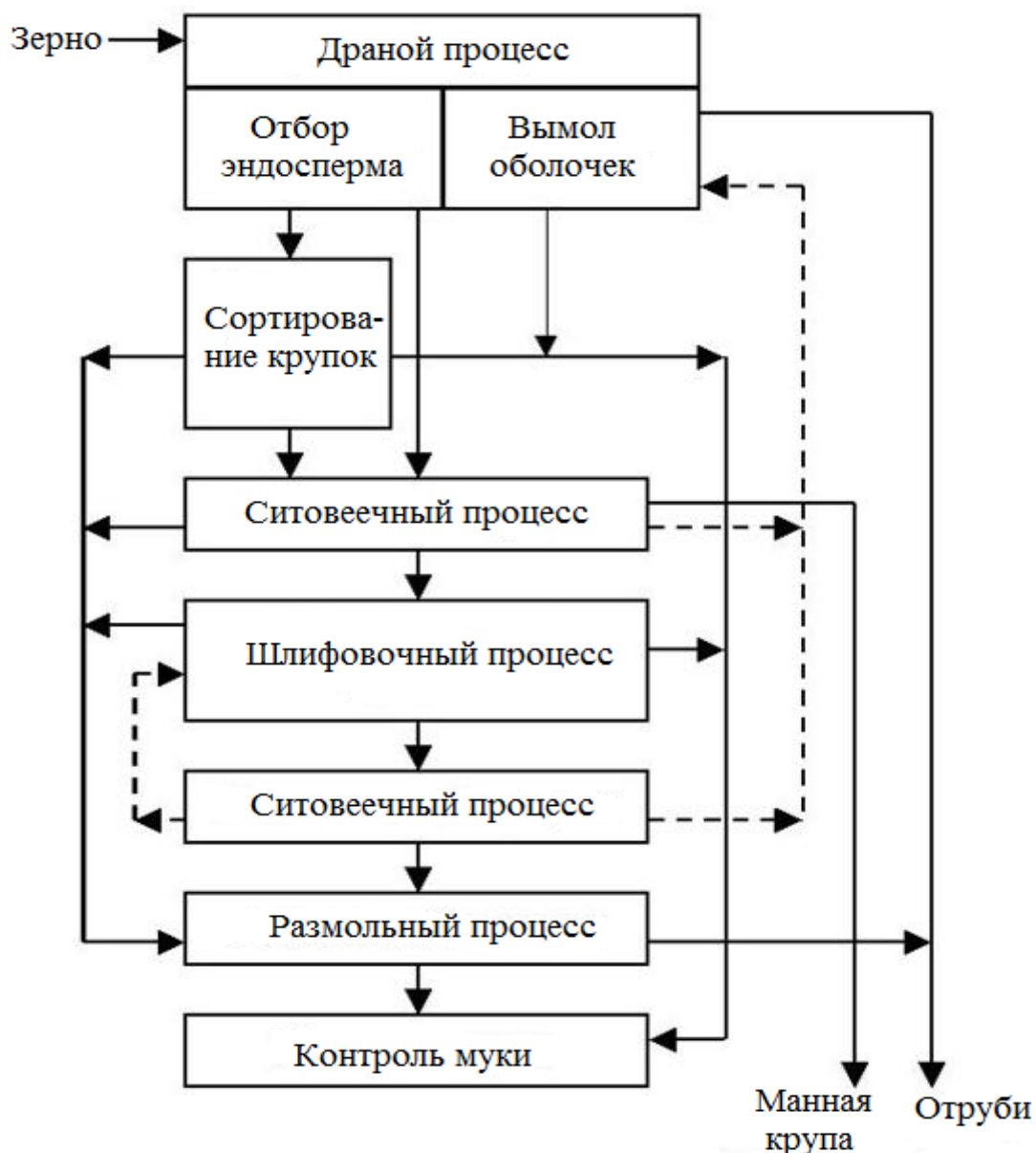


Рисунок 10 – Сложный повторительный помол с развитым процессом обогащения крупок

Основное количество муки получают в размольном процессе: при общем выходе муки 75 % около 69 % получают на размольных системах, 15 % на драных и шлифовочных [5,38].

1.4 Взрывопожароопасные свойства горючих веществ и материалов

Знание взрывопожароопасных свойств горючих веществ и материалов является основой инженерных методов обеспечения безопасности зданий и

сооружений, технологических процессов и оборудования, безопасности людей. Для разработки мер по предотвращению пожара и возникновения взрыва, а также для возможных условий их формирования и подавления, необходимы различные данные.

Взрывопожароопасные свойства всегда находятся в процессах, реализуемых не только различных отраслях промышленности (газовой, нефтяной, химической), но и в строительстве, транспорте, везде, где присутствует человеческая деятельность.

К взрывопожароопасным вещества или материалам относят свойства, которые способны благоприятствовать возникновению горения с дальнейшим пожаром или взрывом. В основном это самые различные по происхождению вещества, с различной химической природой.

Как известно взрывы происходят лишь при определенных показателях. Проводилось множество испытаний в разных странах, и везде использовались разнообразные системы оценки взрывопожароопасности горючей пыли [3,45].

В соответствии с требованиями норм технологического проектирования, для разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, определения категории помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями ГОСТ определяют показатели взрывопожароопасности веществ и материалов. При проведении анализа пожарной опасности технологических процессов проводят сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, с параметрами технологического процесса (ГОСТ Р 12.3.047–12. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля).

При определении взрывопожароопасности веществ и материалов различают:

– твердые вещества и материалы – индивидуальные вещества и их смесевые композиции с температурой плавления или каплепадения больше 50 °С, а также вещества, не имеющие температуру плавления (например, древесина, ткани);

– жидкости – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25 °С и давлении 101,3 кПа меньше 101,3 кПа. К жидкостям относят также твердые плавящиеся вещества, температура плавления или каплепадения которых меньше 50 °С;

– газы – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25 °С и давлении 101,3 кПа превышает 101,3 кПа;

– пыли – диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм [14].

К важным показателям, характеризующих взрывопожароопасность веществ и материалов относят нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени, максимальное давление взрыва пылевоздушных смесей и скорость его нарастания.

Взрывопожароопасность веществ и материалов – совокупность свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению горения. Следствием горения, в зависимости от его скорости и условий протекания, могут быть пожар (диффузионное горение) или взрыв (дефлаграционное горение предварительно перемешанной смеси горючего с окислителем) [14,25].

1.4.1 Нижний концентрационный предел распространения пламени

Нижний концентрационный предел распространения пламени – минимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Знание концентрационных пределов распространения пламени следует использовать в стандартах или технических условиях связанных с газами, легко воспламеняющимися индивидуальными жидкостями, а также азеотропные смеси жидкостей, на твердые вещества, способные образовывать взрывоопасные пылевоздушные смеси (для пылей определяют только нижний концентрационный предел). Концентрационные пределы применяют при

определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями норм технологического проектирования; при расчете взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технологического оборудования и трубопроводов, при проектировании вентиляционных систем, а также при расчете предельно допустимых взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей в воздухе рабочей зоны с потенциальными источниками зажигания в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.010, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004 [13,14].

Во всех случаях, возможно, использовать как экспериментальные, так и расчетные значения НКПР [9,14].

Зависимость НКПР от размера частиц представлена на рисунке 11.

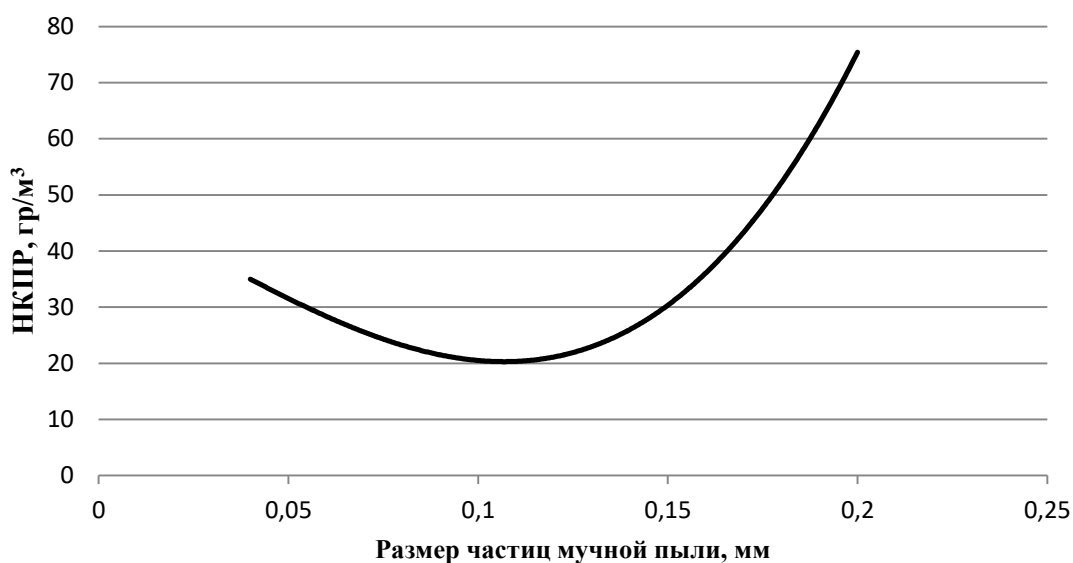


Рисунок 11 – Зависимость НКПР от размера частиц

При увеличении размера частиц от 0,01 до 0,07 мм НКПР снижается, дальнейшее увеличение размера частиц приводит к его повышению. Это обуславливается тем, что мелкие частицы вещества сгорают, как газ. При размерах частиц 0,05–0,07 мм проявляется механизм, обеспечивающий обогащение зоны горения горючим компонентом и, следовательно, приводящий к снижению предельной концентрации горючего, еще способного

распространять пламя. НКПР вещества в дисперсном состоянии может снижаться более чем в 2 раза. От размера частиц существенно зависит максимальное давление взрыва [32].

1.4.2 Максимальное давление взрыва

Максимальное давление взрыва – наибольшее избыточное давление, возникающее при дефлаграционном сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси 101,3 кПа.

Значение максимального давления взрыва следует применять при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями норм технологического проектирования, при разработке мероприятий по обеспечению взрывопожаробезопасности технологических процессов в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 [13,14].

1.4.3 Скорость нарастания давления взрыва

Скорость нарастания давления взрыва – производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления взрыва горючей смеси в замкнутом сосуде от времени. Различают среднюю и максимальную скорости нарастания давления при взрыве. При определении средней скорости в качестве приращения давления принимают разность между максимальным давлением взрыва и начальным давлением в сосуде до взрыва, а при определении максимальной скорости – приращение давления на прямолинейном участке зависимости давления взрыва от времени. Значение скорости нарастания давления при взрыве используют в расчетах систем взрывоподавления и при расчетах предохранительных устройств.

Значение скорости нарастания давления взрыва следует применять при разработке мероприятий по обеспечению взрывопожаробезопасности

технологических процессов в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 [13,14].

1.5 Экспериментальные методы определения нижнего концентрационного предела распространения пламени, максимального давления взрыва и скорости его нарастания

1.5.1 Экспериментальные методы в различных странах

В США Горном Бюро разрабатывались методы взрывопожароопасности пыли, данный метод рассматривал исключительно пыль в осевшем и взвешенном состоянии, также в методе использовались разные источники зажигания и разные устройства для получения аэрозолей.

Температуру самовоспламенения и минимальную энергию зажигания используют для пыли в осевшем состоянии. Температуру самовоспламенения, нижний концентрационный предел распространения пламени, минимальную энергию зажигания, относительную горючесть и относительную воспламеняемость, максимальное давление взрыва и скорость его нарастания, минимальное взрывоопасное содержание кислорода – для взвешенной пыли.

Данные испытания проходят в несколько этапов, так на первом образец определенной навески с пылью просеивают на сите, в опыте используют фракцию, которая прошла данное сито. Если влажность пыли составляет более 5 %, то ее необходимо высушить. При необходимости свойства пыли изучают под микроскопом, и если есть необходимость, находят ее физико-химический состав.

Показатели взрывопожароопасности взвешенной пыли в воздухе определяют на основе результатов. После этого начинают находить безразмерные параметры, характеризующие воспламеняемость, силу взрыва и индекс взрывоопасности, равный произведению двух первых.

В качестве эталона для сравнения используют пыль Питтсбургского угля, на основании легкости воспламенения и взрывоопасности получают определенный результат.

В таблице 1 представлен как связан индекс взрывоопасности со степенью взрывоопасности. Все что находится выше отметки 1,0, говорит о том, что данная пыль выше по опасности угольную пыль Питтсбургского месторождения.

Система «индексов взрывоопасности» не обладает научным обоснованием, она разработана на эмпирической основе [30-32].

Таблица 1 – Зависимость степени опасности пыли от индекса взрывоопасности

Относительная степень взрывоопасности	Легкость воспламенения	Взрывоопасность	Индекс взрывоопасности
Слабая	0,2	0,5	0,1
Умеренная	0,2–1,0	0,5–0,2	0,1–1,0
Высокая	1,0–5,0	1,0–2,0	1,0–10
Очень высокая	5,0	2,0	10

Метод индексов создавался для сведения степени взрывопожароопасности аэрозолей, чтобы сравнить их численными значениями безразмерных параметров. Тем не менее, в промышленности и в научно-технической литературе отсутствует правильность данного метода и не позволяет установить реальную опасность аэрозолей [32].

В Великобритании же предусматривается другая система оценок опасности пылей. В данной стране опыты не измеряют, опасность от осевшей пыли, только находят пыли в состоянии аэрозоля.

Первым этапом для пылей, которые ранее не были исследованы, является оценка их способности в образовании пылевого облака и распространения пламени.

Все пыли после опытов разделяли на 2 группы – взрывоопасные (группа А) и естественно не взрывоопасные (группа В). Если распространения пламени и ее воспламенения происходит хотя бы в одном из трех испытаний, то такая пыль считалась взрывоопасной, при этом источник зажигания был малокалорийный.

Образец пыли перед началом опытов не стоит размалывать. В Британском Стандарте есть определение пыли и в опытах данная пыль не должна его превышать. В случаи, присутствуя крупных фракций, образец просеивают через сито 12 меш, что соответствует 1,4 мм. Более мелкое сито используют в случаи, если изначальный образец не способен к распространению пламени в аппарате. Испытания продолжают после одного часа сушки при 378 К. Все испытания будут относиться только к данному образцу, но ни в коем случаи ни ко всему материалу. Все испытания должны удовлетворять тем условиям, в которых находился данный материал.

Все приборы отличаются своей способностью при создании пылевого облака, что дает вероятность менять концентрацию изучаемой пыли.

Температуру самовоспламенения аэрозоля, минимальное взрывоопасное содержание кислорода, нижний концентрационный предел распространения пламени, минимальную энергию зажигания, максимальное давление взрыва и скорость его нарастания определяют для пылей, которые относятся после испытаний к группе А [30-32].

В ФРГ для определения взрывопожароопасности промышленных пылей рассматривают большее число показателей, все они характеризуют опасность пыли, ее возможных отложений и термическое разложение пыли.

Для аэрозолей определяют горючесть пыли, температуру самовоспламенения, максимальное давление взрыва и скорость нарастания давления при взрыве.

При исследовании пылей в виде аэрогеля определяют воспламеняемость и находят температуру самовоспламенения.

На горючесть исследуют продукты термического разложения. В случаи горючести, помимо горючести, находят температуру исследуемого вещества, в

результате чего происходит интенсивное выделение, а также максимальное давление взрыва и скорость нарастания давления при взрыве.

Наибольшую опасность представляют образцы свежие и сухие и состоящие их мелких фракций, именно их нужно отбирать для испытаний. Как в предыдущих исследованиях используют ситовый анализ. Все частицы, имеющие размер более 20 мкм, измельчают. После этого в течение дня образец высушивают при температуре 75 °С.

Все опыты происходят после оценки взрывоопасности данной пыли. Для этого пыль объёмом около 10 см³ распыляют в воздухе над газовой горелкой. Визуально определяют размеры и характер пламени, также возможно определения при помощи киносъёмки.

Главный недостаток системы ФРГ в том, что она не определяет такие показатели как нижний концентрационный предел распространения пламени, минимальное взрывоопасное содержание кислорода и минимальная энергия зажигания.

Проанализируем более подробно лабораторные установки для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени, максимального давления взрыва и максимальной скорости нарастания давления [32].

1.5.2 Установки для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени

Для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени одинаковых веществ иногда на порядок отличаются друг от друга в зависимости от метода исследований и автора работы. Данное обстоятельство вызвано от многих факторов таких, как размер частиц, влажность, степень окисления поверхности и т.д. Также успех испытания зависит от особенности установки и его метода проведения: размерами взрывных камер, типом распылителей, направлением распыления, видом источника зажигания и др.

Разберем самые распространенные установки, на которых можно получить все необходимые данные о нижнем концентрационном пределе распространения пламени.

Все установки могут быть 2 видов:

- установка с импульсной подачей порошка во взрывную камеру;
- установка с непрерывной подачей.

Самыми популярными являются установки первого типа [32].

Установка Аллисона является одной из первых по определению нижнего концентрационного предела распространения пламени. Она представляет металлическую горизонтальную трубу длиной 5,5 м. Труба имеет внутренний диаметр 0,2 м. и крепится на подвижной подложке, на высоте расположенной от уровня пола в 1,5 м. Один конец трубы открыт, а в другом размещено устройство для зажигания аэрозоля. Под реакционной трубой помещена трубка диаметром 50 мм с двенадцатью патрубками, которые при подъеме трубки входят в соответствующие вырезы большой трубы. На металлические диски, которые находятся внутри патрубков, засыпают навеску. При проведении опыта давление воздуха поступает через вспомогательную трубку и порошок попадает в реакционную камеру, где его и зажигают [32].

Долгое время все испытания проводились в шарообразных сосудах из стекла. Самая простая установка была разработана Штогмайером. Данная установка представляет стеклянный шар с 2 медными электродами. Испытания проводятся в следующем порядке. Навеску размещают внутри шара, после этого шар вращается и пыль становится во взвешенном состоянии, образовавшаяся пыль зажигалась электрической искрой.

В дальнейшем данная установка подверглась изменениям. Тростелл и Фреверт изменили создания аэрозоля, но форму шара оставили прежней. Навеску уже помещали в чашку, а не в трубу. С помощью сжатого воздуха из трубы создавали аэрозоль. В данной установке также присутствовал индикатор давления, чтобы регистрировать аэрозоль при сгорании. Источником зажигания аэрозоля была накалившая сталь [41].

В дальнейшем в этой установке были найдены недостатки в виде неоднородности пылевого облака внутри взрывной камеры. Также исследования показали, что не вся навеска участвует в сгорании. Мэсон и Тейлор устранили эти недостатки путем изменения размеров и геометрии чашки для навески, изменив конструкцию, никаких успехов им это не дало. Вследствие чего Мэсон и Тейлор отrekliсь от этого метода.

Чтобы получить равномерное распыления пылевого облака Штайнбрехер использовал емкость 0,135 л сделанную из стекла и распылял порошок снизу. Снизу цилиндра размещается изогнутая трубка под прямым углом, которая соединяется с баллоном со сжатым воздухом и запирается краном. В данный изгиб трубки помещают навеску. После открывания крана навеска под действием струи воздуха попадает в испытательную камеру. Вторая трубка на дне используется для выравнивания давления при вдувании в цилиндр смеси пыль – воздух. Термоэлемент, предназначен для измерения развиваемой при горении температуры, расположен в верхней части цилиндра [35,48].

Одним из главных недостатком таких сосудов из стекла их частое разрушение. Поэтому из-за высокой опасности были вынуждены усовершенствовать установки и защитить людей.

Замена шара из стекла на металл пришла в голову Гливицкому. Он стал регистрировать давление, и синхронизировал распыление и зажигания пыли. Источником зажигания послужили спички термические. Для определения давления взрыва использовались 2 методы. Первый метод смотрели на деформацию свинцовой мембраны, второй – использовали световой луч. В ФРГ очень долго использовали данную установку.

В свою очередь Бойль и Левеллин использовали открытую камеру (рисунок 12). Электрическая дуга была в качестве источника зажигания. В подвижном состоянии был один из электродов. Аэрозоль образовывался подачей во взрывную колбу импульса воздуха по трубке, находящийся над чашечкой с порошком.

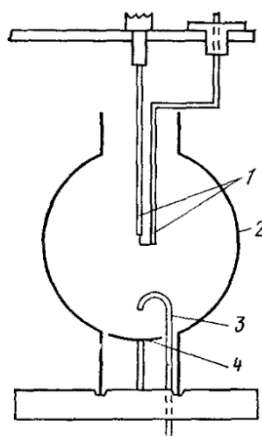


Рисунок 12 – Установка Бойля и Левеллина:

1 – электроды зажигания; 2 – колба; 3 – воздухоподводящая трубка;
4 – распылитель

Из-за небольшого объема сосудов в виде шаров не получается добиться распределение всех частиц более равномерно, поэтому вместо шаров из стекла стали употреблять сосуды в форме цилиндра. В МГУ в теплофизическом институте разработали данную установку. Взрывной цилиндр имел объем 3,23 литра и диаметр и высота были 10,7 мм и 360 мм соответственно. Пластина нагревалась спиралью, что послужило источником зажигания. Образец исследуемой пыли размещали в особую изогнутую трубку и давлением воздуха распыляли в цилиндре сверху вниз [32].

На рисунке 13 представлена установка Мэнсона и Тейлора, они использовали аналогичный метод распыления, как и в МГУ, изучению подвергалась алюминиевая пудра. Взрывная камера была из цилиндра с объемом 0,75 л. Также в ней установлен был прибор для регистрации давления. Электроды зажигания вводились через крышку снизу внутрь сосуда. Метод имел следующее представление: навеска распылялась визуально, происходила оценка частиц аэрозоля. Следом пропускали ток, и навеска сгорала, все испытания оценивались исключительно визуально.

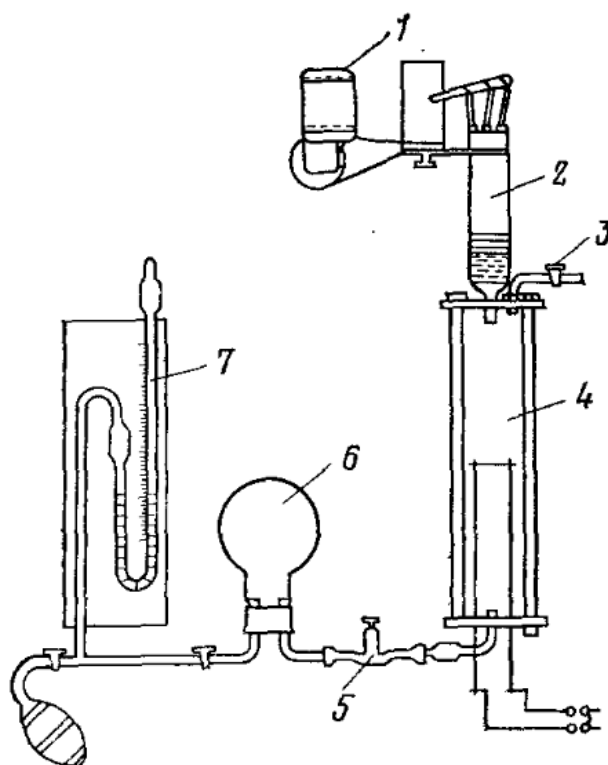


Рисунок 13 – Схема установки Тейлора и Мэнсона:

1 – электродвигатель; 2 – устройство для подачи пыли; 3 – кран для сброса давления; 4 – взрывная камера; 5 – быстродействующий отсекающий; 6 – ресивер; 7 – манометр

В нашей же стране, начиная с 30-х и заканчивая 70-ми годами, эксперименты проводились на установке собранной Годжелло М.Г. На рисунке 14 представлена данная установка, в которой взрывная камера сделана из нержавеющей стали в форме цилиндра и имеет высоту 450 мм с диаметром 108 мм. Имеется водяная рубашка, которая откидывает дно взрывного цилиндра. Также есть два смотровых окна, чтобы смотреть, как распыляется навеска и оценивать воспламенение. Камера была полностью герметична при опытах. Источник зажигания в установке была накаливаемая до 1000–1050 °С керамическая пластинка с размещенной внутри нее спиралью. Для того чтобы определить температуру источника использовали термопару. С помощью форсунки образовывалось пылевое облако. Итоги измерения нижнего концентрационного распространения пламени регистрировали по превышению давления по сравнению с давлением «холостого» опыта на 10 кПа.

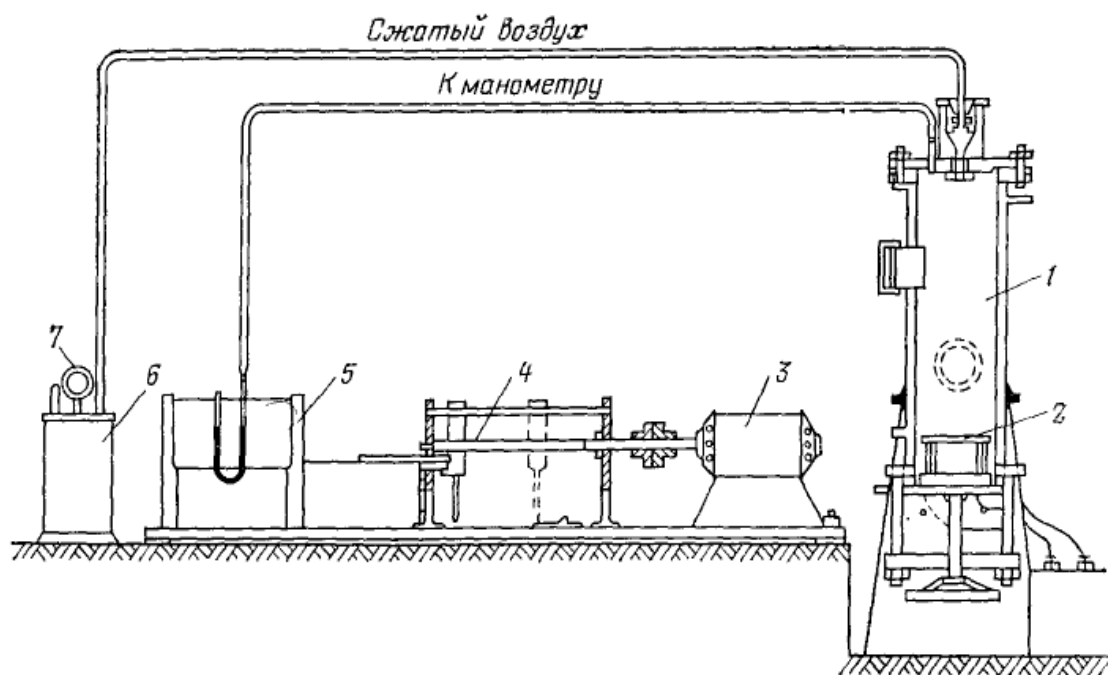


Рисунок 14 – Установка М. Г. Годжелло:

- 1 – взрывной цилиндр; 2 – источник зажигания; 3 – электродвигатель;
 4 – механизм для передвижения фотопленки; 5 – приспособление для регистрации взрывного давления; 6 – ресивер; 7 – манометр

Данный метод имел два важнейших недостатка. Во-первых, пылевое облако было не равномерно распределено по объему камеры, во-вторых, регистрация давления была не точна. Данные недостатки способствовали занижению НКПР [11].

1.5.3 Установка по определению максимального давления взрыва и скорости его нарастания

На рисунке 15 представлена схема установки ВНИИПО, которая определяет максимальное давление взрыва, и скорость его нарастания при взрыве пыли.

Установка содержит взрывной цилиндр, систему подготовки газа и систему измерения давления.

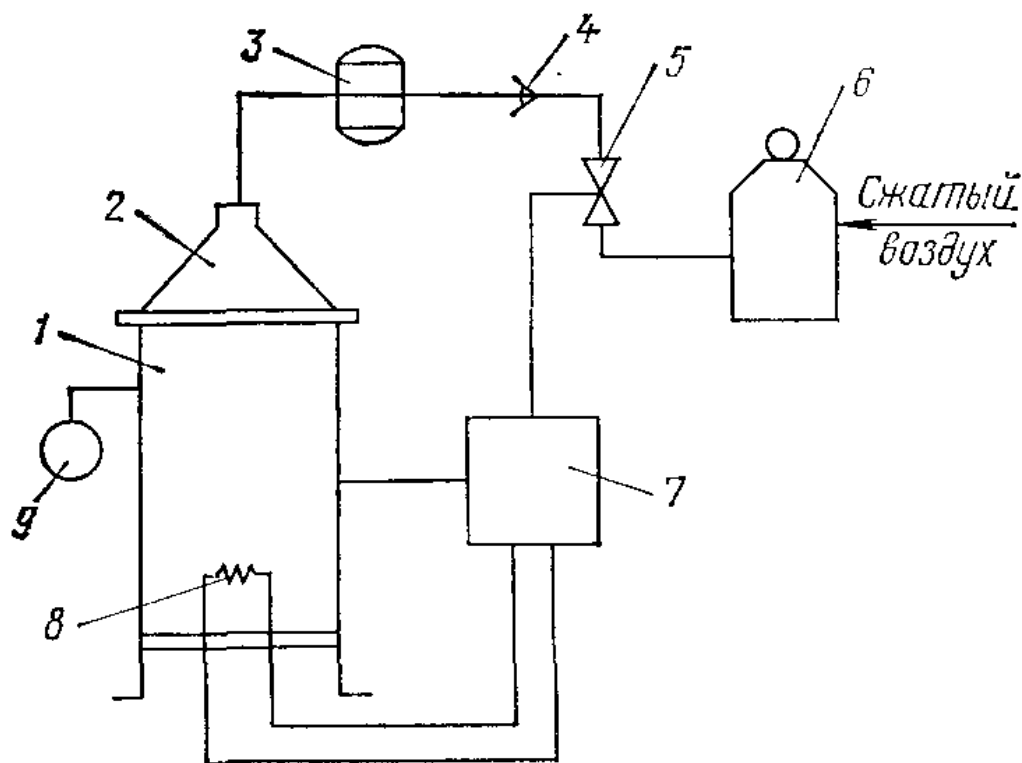


Рисунок 15 – Схема установки для измерения максимального давления взрыва:

- 1 – взрывная камера; 2 – распылитель; 3 – форкамера для навески;
 4 – обратный клапан; 5 – электромагнитный вентиль; 6 – ресивер;
 7 – пульт управления; 8 – спираль; 9 – газоанализатор

Взрывной цилиндр обладает объемом 4 л., диаметр – 108 мм, высоту – 450 мм. На нем присутствует рубашка водяного охлаждения. Распылительное устройство находится вверху цилиндра, а также форкамеру смешения навески порошка с воздухом, обратный клапан и ресивер. С помощью домкрата цилиндр закрывает снизу, резиновая прокладка делает цилиндр герметичным. На нижней крышке размещены опоры спирального зажигания. Источником зажигания в данной установке служит электроспираль из нихромовой проволоки, которая накаляется до 1320–1370 К. Диаметр проволоки 0,8 мм, длина – 300 мм. Измерительный блок установки включает тензотермический датчик давления, блок питания и блок синхронизации процессов распыления навески, зажигания аэрозоля и автоматический запуск развертки осциллографа [11,32].

В самом начале эксперимента необходимо проверить спираль и ее температуру, проверить взрывной цилиндр на герметичность и тарируют датчик давления. Все проверки проводят три раза, после чего стоят тарировочную кривую, проходящую через начало координат и определяют цену деления шкалы осциллографа в кПа.

Основную серию опытов начинают сразу же после построения кривой. Опыты начинают с 0,5 гр, сжигают вещество и постепенно увеличивают навеску на 0,2 гр, после этого стоят зависимость давления взрыва от массы навески.

С навеской, показавшее наибольшее давление, проводят 10 испытаний, после чего выбирают самое большое значение, которое соответствует максимальному взрыву давления. Осциллограмму, полученную для навески, дающей максимальное давление взрыва, применяют для нахождения средней и максимальной скоростей нарастания давления взрыва [32].

В США и Западной Европе использовали установку Хартмана, состоящую из металлической камеры. У данной установки есть два наблюдательных окна, датчик давления. Навеску для опытов размещают в распылительное устройство. Концентрацию находят в предположении равномерного распределения частиц по объему. Для распыления навески через соленойдный клапан пропускают воздух под давлением 840 кПа.

Все испытания были исследуемы в разных концентрациях навески, но в основном от 100–500 гр/м³

Осциллограмма обрабатывалась так же, как и в отечественной методике.

На рисунке 16 представлена установка, которая использовалась в Японии. В этой установке аэрозоль образуется во вращающемся барабане формы цилиндра с внутренним диаметром 270 мм и высотой 170 мм. С целью создания равномерного пылевого облака на внутренней поверхности цилиндра расположены зубцы, которые при вращении отбрасывают частицы пыли внутрь барабана. Внутри взрывной камеры создается однородное пылевое облако. Эксперименты не сопоставили результаты, поэтому сложно говорить о достоинствах данного метода [30-33].

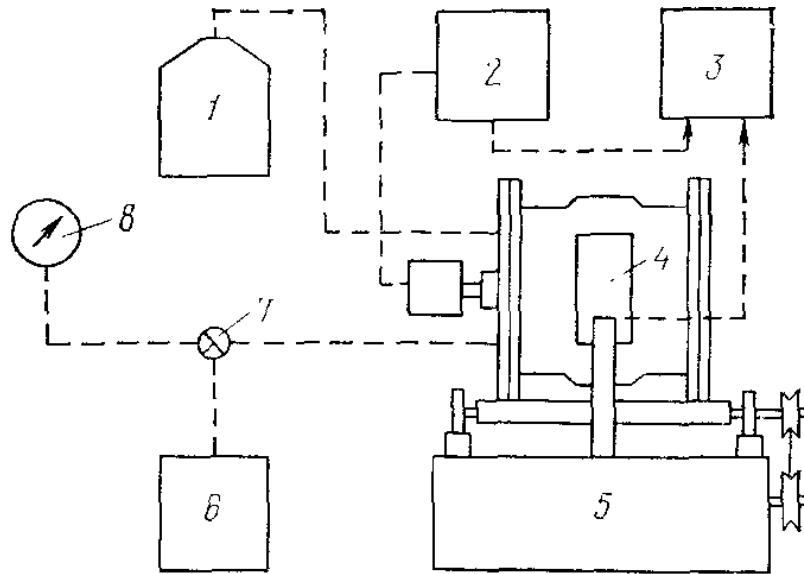


Рисунок 16 – Схема установки Ишияма и Еномото для измерения максимального давления взрыва и скорости нарастания давления:
 1 – смеситель газов; 2 – измеритель скорости вращения;
 3 – осциллограф; 4 – взрывная камера; 5 – двигатель; 6 – вакуум-насос;
 7 – трехходовой кран; 8 – манометр

1.6 Расчетные методы определения основных взрывопожароопасных показателей пылевоздушной смеси

Пыль – диспергированные твердые вещества и материалы с частицами размером не менее 0,8 мкм. Основными взрывопожароопасными показателями пылей является нижний концентрационный предел распространения пламени и максимальное давление взрыва [25].

Взрывопожароопасность пылей состоит в их:

- дисперсности;
- химической активности;
- адсорбционной способности;
- склонности к электризации.

Рассмотрим пыль с разными фракциями, которые находятся на различном расстоянии. В случае, зажигания этих частиц должно выделяться тепло, которое

в дальнейшем будет передаваться соседним частицам. Загорание произойдет в том тогда, когда температура частиц будет выше температуру воспламенения. Чем больше концентрация, тем эффективнее теплопередача и, следовательно, распространение горения от одной частицы к другой. Чем тоньше фракции пыли, тем более взрывоопасна данная пыль.

Учитывая взрывопожароопасность производств целесообразно определять и контролировать такие показатели взрывопожароопасности пыли, как нижний концентрационный предел распространения пламени, максимальное давление взрыва и скорость нарастания взрыва.

Экспериментальное определение основных показателей взрывопожароопасности пыли очень затруднительно применять на производствах. Поэтому целесообразно использовать расчетные методы для определения показателей взрывопожароопасности пылевоздушных смесей.

1.6.1 Метод расчета нижнего концентрационного предела распространения пламени для пылевоздушной смеси

НКПР рассчитывается по формуле:

$$НКПР = \frac{M_x}{v} \cdot K_n, \quad (1)$$

где M_x – математическое ожидание величины распыленной навески, соответствующий НКПР, мг;

$v = 4 \text{ л}^3$ – вместимость реакционного сосуда;

K_n – поправочный коэффициент.

Математическое ожидание величины распыленной навески (M_x), соответствующей НКПР, рассчитывают по методу Спирмена-Кербора.

$$M_x = b - d(S_i - 0,5), \quad (2)$$

где b – минимальное значение массы распыленной навески с вероятностью равной 1, мг;

d – величина изменения навески (разностью между навесками с вероятностью 1 и вероятностью 0);

S_i – сумма вероятностей воспламенения во всей области неустойчивого воспламенения.

Величина поправочного коэффициента (K_n) рассчитывается по формуле:

$$K_n = \bar{K} - \Delta, \quad (3)$$

где \bar{K} среднее значение относительно площади осадка, равное:

$$\bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (4)$$

где K_i – значение относительной плотности осадка;

n – число испытаний;

Δ – доверительный интервал, равный:

$$\Delta = \frac{S}{\sqrt{n}} t_\alpha, \quad (5)$$

где S – дисперсия;

t_α – квантиль распределения Стьюдента при одностороннем доверительном интервале и доверительной вероятности 0,95.

Дисперсию рассчитывают по формуле (6)

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n K_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n K_i \right)^2}{n} \right]} \quad (6)$$

Значения квантиля в зависимости от числа испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение квантиля в зависимости от числа испытаний

n	t ₂	n	t ₂
10	1,833	13	1,782
11	1,812	14	1,771
12	1,796	15	1,761

Величина нижнего концентрационного предела распространения пламени пылевоздушной смеси определяется по формуле:

$$НКПР = \frac{8 \cdot 10^5}{(-\Delta H_{ce}^0)}, \quad (7)$$

где НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м³;

ΔH_{ce}^0 – теплота сгорания вещества, кДж/кг.

Относительная средняя квадратическая погрешность расчета по формуле (7) составляет 19%.

При отсутствии возможности использовать для оценки величины НКПР формулу (7), допускается полагать значение НКПР равным 40 г/м³ – для зерновых и комбикормовых пылей и 15 г/м³ – для органических химических и биохимических реактивов [34,44].

1.6.2 Метод расчета максимального давления взрыва пылевоздушных смесей

Величина максимального избыточного давления взрыва P_{\max} , находившихся первоначально в нормальных условиях вычисляется по формуле:

$$P_{\max} = 0,7 \cdot P_{\max}^0, \quad (8)$$

где P_{\max} – максимальное давление взрыва пыли, кПа;

P_{\max}^0 – максимальное давление взрыва, кПа.

Величина P_{\max}^0 рассчитывается по формуле:

$$P_{\max}^0 = 0,34 \cdot C_7 \cdot C_1 - 101,3, \quad (9)$$

где $C_7 = 2000 + 24,4 \cdot C_2 \cdot (C_6 - C_5) / (C_1 - C_3) - C_4 / C_3$;

$$C_1 = 1 + (m_O + m_N + 1/2m_H) / 9,6b;$$

$$C_2 = m_c + 1/2m_H + 1/2m_N + 3,8b;$$

$$C_3 = 53m_c + 23m_H + 14m_N + 110b;$$

$$C_4 = (0,83m_c + 0,33m_H + 0,24m_N + 1,8b) \cdot 10^5;$$

$$C_5 = 8,5(7,6m_c + 19,2m_H - 4,3m_O - 4,3m_N) / b + 225;$$

$$C_6 = 8,5 \cdot 10^{-3} (\Delta H_{\sigma}^0) \cdot M / b.$$

b – стехиометрический коэффициент кислорода:

$$b = m_c + (1/4)m_H - (1/2)m_O. \quad (10)$$

где M – молекулярная масса, рассчитываемая по формуле:

$$M = 12m_c + m_H + 16m_O + 14m_N, \quad (11)$$

где m_c , m_H , m_O , m_N – соответственно число атомов углерода, водорода, кислорода и азота, входящих в молекулу вещества.

Если структурная формула отсутствует (смеси индивидуальных веществ, полимеры, зерновые и комбикормовые пыли и т. д.) или о ней нет сведений, то молекула вещества моделируется набором атомов С, Н, О, N в количестве, вычисляемом следующим образом:

$$m_c = \frac{C_c}{12}; m_H = C_H; m_O = \frac{C_O}{16}; m_N = \frac{C_N}{14}, \quad (12)$$

где C_c , C_H , C_O , C_N – содержание атомов С, Н, О, N в составе горючего материала, % (масс.).

При этом количество атомов того или иного вида в молекуле (m_c , m_H , m_O , m_N) может быть дробным.

Относительная средняя квадратическая погрешность расчета по формуле (8) составляет 23 %.

При разработке систем взрывопожарозащиты производства, когда расчетное значение показателя соответствует результатам крупномасштабных огневых испытаний, рекомендуется использовать оценку показателя P_{\max} по формуле:

$$P_{\max} = P_{\max}^0. \quad (13)$$

При отсутствии возможности расчета показателя по формуле (8) допускается принимать значение P_{\max} , равное 1,2 МПа.

Максимальное давление взрыва без учета степени диссоциации продуктов вычисляется по формуле:

$$P_{\max} = \frac{P_H \cdot T_{ad(v)} \sum m_{jk}}{T_H \cdot \sum m_{iH}}, \quad (14)$$

где P_H – давление, под которым находится исходная смесь;

$\sum m_{jk}$ – сумма числа молей конечных пылеобразных продуктов горения;

$\sum m_{iH}$ – сумма числа молей пылеобразных исходных веществ;

T_H – температура исходной смеси;

$T_{ad(v)}$ – адиабатическая температура горения стехиометрической смеси горючего с воздуха при постоянном объеме.

Значение $\sum m_{jk}$ без учета степени диссоциации продуктов горения в соответствии с уравнением (34) вычисляется по формуле [27,34,44].

$$\sum m_{jk} = m_c + m_s + 0,25m_p + 0,5(m_H - m_X) + m_X + (3,84b + 0,5m_N). \quad (15)$$

Значение $\sum m_{iH}$ находится по формуле:

$$\sum m_{iH} = 1 + 4,84b. \quad (16)$$

1.6.3 Метод расчета скорости нарастания давления взрыва пылевоздушной смеси

Скорость нарастания давления взрыва пылевоздушных смесей определяется по формуле (17):

$$\left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{\max} = P_{\max} \frac{S_n}{L}, \quad (17)$$

где $(dP/dt)_{\max}$ – скорость нарастания давления взрыва (в условиях стандартных испытаний), кПа/с;

P_{\max} – расчетное значение максимального давления взрыва, кПа;

S_n – максимальная эффективная скорость распространения пламени по аэровзвеси в условиях стандартных испытаний, м/с;

L – характерный размер взрывного сосуда, м. В условиях стандартных испытаний $L = 0,4$ м.

Относительная средняя квадратическая погрешность расчета по формуле (17) для зерновых и комбикормовых пылей минимальна при величине $S_n = 6,67$ м/с составляет 80 %.

Для органических химических и биохимических реактивов, если нет сведений о величине скорости распространения пламени по аэровзвеси, в условиях стандартных испытаний допускается полагать $S_n = 30$ м/с [34,44].

Вывод по первой главе

Рассмотрены статистические данные по возникновению пылевых взрывов и их причины за последние 20 лет. Проведен анализ технологического взрывоопасного оборудования, рассмотрена технология мукомольного производства и методы предупреждения взрывов и пожаров.

Изучены основные взрывопожароопасные свойства горючих веществ и материалов, расчетные и экспериментальные методы определения взрывопожароопасных свойств горючих пылей: НКПР, максимального давления взрыва и скорости его нарастания. Рассмотрен принцип работы установок по определению взрывопожароопасных свойств горючих пылей и методики их определения.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объект исследования

При разнообразных технологических процессах на производстве (дроблении, истирании, измельчении, просеивании и т.п.) возможно образование пыли. Это вызывает потерю ценных продуктов, улетающих в воздух, отрицательно влияет на санитарно-гигиеническую обстановку в помещении и приводит к возникновению взрывоопасных пылевых смесей. Оценка взрывопожароопасности является одним из важных этапов в обеспечении пожарной безопасности на производстве и заключается в выборе более точной методики определения показателей взрывопожароопасности.

К важным показателям, характеризующим взрывопожароопасность, относят НКПР, максимальное давление взрыва и скорость его нарастания для пылевоздушных смесей.

Объектом исследования является мука разных производителей.

Для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени, максимального давления взрыва и скорости его нарастания исследуется мука марок «Увелка», «Макфа», «Царь» и «Ситно».

Мука представляет собой порошок, получаемый при переработке зерна пшеницы и ржи. В таблице 3 представлены основные характеристики мучной пыли [18].

Таблица 3 – Основные характеристики мучной пыли

Наименование	Показатель
Влажность, % (масс.).	13,6
Плотность, кг/м ³	650
Теплота сгорания, кДж/моль	13380
Температура воспламенения, °С	250
Температура самовоспламенения, °С	380
Температура тления, °С	310
НКПР, г/м ³	15–40

Продолжение таблицы 3

Наименование	Показатель
Скорость нарастания давления:	
Среднее, МПа/с	8
Максимальное, МПа/с	10,6
Максимальное давление взрыва, кПа	520
Минимальная энергия зажигания:	
при влажности образца 2 %, мДж	6,4
при влажности образца 11 %, мДж	29
ПДКр.з.	6 мг/м ³
Дисперсность	менее 100 мкм

2.2 Методы исследования мучной пыли

Для определения основных взрывопожароопасных показателей мучной муки: НКПР, максимальное давление взрыва и скорость его нарастания, использовался ситовой анализ исследования мучной пыли и установка по определению взрывопожароопасных показателей муки.

2.2.1 Ситовый анализ исследования мучной пыли

Ситовой анализ – способ, определяющий процентное содержание фракций в пылевидном или зернистом материале, который состоит из определенного размера частиц.

Анализ состоит в просеивании навески заданного материала через набор стандартных сит. Сита различаются по размерам ячеек. Форма ячейки в основном квадрат или прямоугольник. Чем ниже располагается сито, тем мельче в нем ячейки. Таким образом, частицы исходного материала меньших размеров проходят через ячейки сита к нижележащему ситу, а частицы большего размера задерживаются на поверхности сита. В основном используют от 5 до 20 сит, а количество фракций всегда на единицу больше количества сит.

Материал для изготовления сит применяют в основном проволоку (стальную, медную, латунную) или же нити (шелковые, капроновые,

нейлоновые), из которых сплетают или ткнут сетки. Реже встречаются сита из штампованных металлических решеток. Для отсеивания очень мелких порошков применяют микросита из никелевой фольги, в которых квадратные ячейки расширяются книзу (для предотвращения забивки).

Способ проведения ситового анализа может быть ручным или механизированным, а также сухим или мокрым способом все зависит от размеров и свойств материала и заданной точности анализа.

Ситовой анализ проводят согласно ГОСТ Р ИСО 5223-99 «Сита лабораторные для анализа зерновых культур. Технические требования» [17].

2.2.2 Установка по определения взрывопожароопасных показателей муки

Экспериментальные исследования проводились на установке по определению основных показателей взрывопожароопасности веществ: максимального давления взрыва, нижнего концентрационного предела распространения пламени (ГОСТ 12.1.044-89 (2001) [14].

С помощью данной установки проводились все заявленные экспериментальные исследования.

Рассмотрим установку в соответствии с новыми требованиями и техническими условиями (рисунок 17).

Реакционный сосуд, имеет форму цилиндра высота которого (450 ± 25) мм, внутренний диаметр – (105 ± 5) мм. Он сделан из нержавеющей стали и рассчитан на рабочее давление до 1 МПа. Сосуд снабжен штуцерами для подачи газовых компонентов и подсоединения датчика давления. Установка также оснащена реакционным сосудом из стеклянной трубы по ГОСТ 8894 высотой (450 ± 25) мм, внутренним диаметром (10 ± 2) мм и толщиной стенки (7 ± 1) мм [14,16].



Рисунок 17 – Общий вид установки согласно ГОСТ 12.1.044-89 (2001):
 1 – реакционный сосуд; 2 – датчик давления; 3 – вытяжной шкаф;
 4 – электромагнитный клапан; 5 – компрессор; 6 – блок питания;
 7 – регулятор мощности; 8 – ПЭВМ

Система газоприготовления и распыления исследуемого вещества, рассчитанная на рабочее давление до 1 МПа, состоит из [14]:

- конусного распылителя с углом раствора $(30 \pm 5)^\circ$, который является верхней крышкой реакционного сосуда и выполнен из нержавеющей стали;
- форкамеры, в которую помещают образец исследуемого вещества;
- обратного клапана и клапана с электроприводом, время открытия электропневмоклапана $(0,3 \pm 0,1)$ с;
- ресивера с трубопроводами вместимостью $(1,0 \pm 0,2)$ дм³;
- манометра класса точности 0,25.

Условный диаметр прохода трубопроводов должен быть $(10,0 \pm 0,5)$ мм, элементов системы газоприготовления и распыления не менее 10 мм, вентиляей не менее 4 мм. Длина трубопроводов между ресивером и распылителем должна составлять $(0,9 \pm 0,1)$ м.

Источник зажигания, представляющий собой нагреваемую электрическим током до температуры (1050 ± 50) °С спираль из проволоки марки Х80Н20-Н (ГОСТ 12766.1) диаметром 0,8 мм. Длина спирали (50 ± 1) мм, внутренний диаметр спирали $(8,0 \pm 0,5)$ мм; число витков 30; потребляемая мощность при токе $(13,0 \pm 0,5)$ А составляет (475 ± 25) Вт, время выхода на рабочую температуру (8 ± 1) с. Спираль расположена горизонтально на оси цилиндра на расстоянии (150 ± 5) мм от нижнего фланца [14].

На данной установке установлен амперметр и вольтметр, чтобы контролировать процесс нагрева спирали, а также можно проконтролировать технического состояния установки (рисунок 18).



Рисунок 18 – Источник зажигания и регулятор мощности:
1 – вольтметр; 2 – амперметр; 3 – ЛАТР-1М

Также установка оснащена датчиком давления, электромагнитным и промежуточным реле. Подача пыли в форкамеру осуществляется за счет компрессора (рисунок 19), оснащённый ресивером и контрольно-измерительной аппаратурой (манометрами). Установлен блок питания, ПЭВМ, ЛАТР-1М. На рисунке 20 представлена функциональная схема установки.



Рисунок 19 – Компрессор системы приготовления и распыления материала

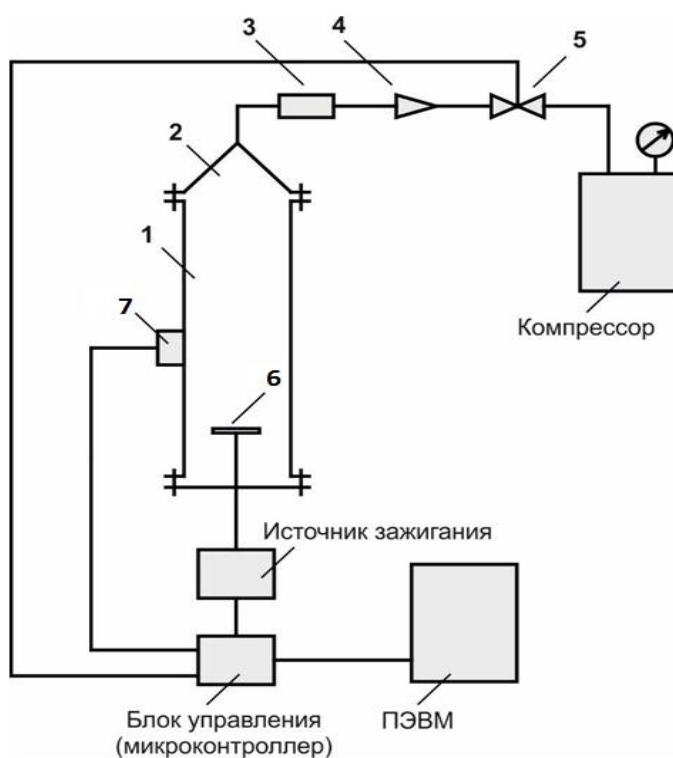


Рисунок 20 – Функциональная схема установки:

- 1 – реакционный сосуд; 2 – конус распылителя; 3 – форкамера;
 4 – обратный клапан; 5 – клапан с электроприводом; 6 – источник зажигания;
 7 – датчик давления

Первое испытание необходимо начать с массы, соответствующей двум НКПР (если он известен) или с 500 мг. Поместить навеску исследуемого вещества в форкамеру. Набрать давление в компрессоре до двух атмосфер (для этого отжать красную кнопку вверх и ждать показания на манометре 2–3 атмосферы, после зажать красную кнопку обратно). Выставить в ячейках «Нить накала» начальное значение 0, конечное значение 20, «Электромагнитный клапан» начальное время 20, конечное 20.3, «Запись показаний датчика» начальное время 19, конечное 23. Нажать кнопку «старт». Визуально наблюдать в смотровом отверстии реакционного сосуда за воспламенением. На ПЭВМ дублируется процесс эксперимента.

Для просмотра результатов необходимо нажать кнопку «Результаты последних измерений». На экране появится график кривой с показаниями максимального давления взрыва, и скорости его нарастания, далее нажать кнопку «назад» для возврата на исходную страницу. Наблюдайте по графикам за изменениями кривой, если максимальное давление кривой стало снижаться, то испытания прекращаются (рисунок 21).

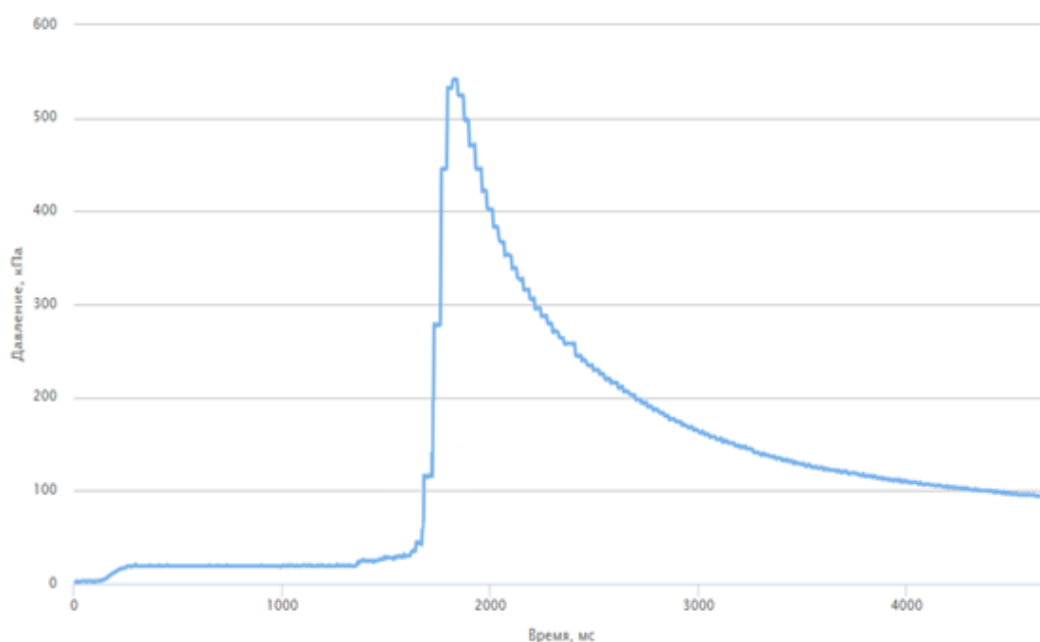


Рисунок 21 – Кривая зависимости нарастания максимального давления взрыва от времени

На установке есть функция запоминания результатов проведенных испытаний. Благодаря этому, мы можем импортировать экспериментальные [19,24,36] данные (таблица 4) для автоматического вычисления максимального давления взрыва и скорости его нарастания.

Все расчеты производятся с помощью формул:

$$P_{\text{макс}} = \max\{Y_n\}, \quad (18)$$

$$\Delta P_n = \left| \frac{Y_{n+1} - Y_n}{X_{n+1} - X_n} \right|, \quad (19)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta t}(n) = \max\{\Delta P_n\}, \quad (20)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \sum \Delta P_n, \quad (21)$$

где n – номер испытания,

X – время, с.

Y – давление, кПа.

Таблица 4 – Экспериментальные данные

n	$X, \text{с}$	$Y, \text{кПа}$
1	X_1	Y_1
...
10	X_{10}	Y_{10}

Серию испытаний проводят на десяти образцах оптимальной массы и по полученным диаграммам [1,10] определяют максимальное давление и максимальную скорость нарастания давления. После окончания испытаний проводят очистку реакционного сосуда.

Далее следует обработать результаты. За величину максимального давления взрыва принимают наибольшее из десяти значений давления взрыва, полученных в серии основных испытаний. Максимальную скорость нарастания давления также определяют по наибольшей из десяти значений скорости нарастания давления.

Вывод по второй главе

Рассмотрены основные характеристики мучной пыли разных производителей («Увелка», «Макфа», «Царь» и «Ситно».).

Описаны основные методики проведения эксперимента (ситовой анализ, определения взрывопожароопасных свойств горючих пылей).

Изучен принцип действия установки по определению взрывопожароопасных свойств горючих пылей.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ И РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МУЧНОЙ ПЫЛИ

3.1 Экспериментальный метод исследования мучной пыли

Исследования взрывопожароопасных свойств мучной пыли начали с определения гранулометрического состава исследуемой муки («Увелка», «Царь», «Макфа», «Ситно»). Гранулометрический состав проводили методом ситового анализа по ГОСТ [17]. Гранулометрический состав муки разных производителей представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Гранулометрический состав муки разных производителей

Показатель	Производитель муки			
	Царь	Увелка	Макфа	Ситно
Размер частиц мучной пыли, мм	Содержание, %			
0,2	47,9	52,9	41,4	51,4
0,16	25,9	33,7	37,9	27,3
0,125	21,9	8,9	12,9	15,8
0,08	4,2	4,4	7,7	5,5

Из таблицы 5 видно, что содержание в муке фракций от 0,2 до 0,16 мм у производителя «Увелка» более 85 %, у производителя «Царь» – 74 %, «Макфа» и «Ситно» примерно 79 %. Количество мелких фракций (0,125 и 0,08 мм) составляет – 13, 25 и 21 % соответственно. Следует отметить, что максимальное количество мелкой пыли размером 0,08 мм содержится в муке производителей «Макфа» (7,7 %) и «Ситно» (5,5 %), минимальное – «Царь» (4,2 %) и «Увелка» (4,4 %).

При определении НКПР муки использовали навески исходного материала весом 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,8; 1; 2; 3; 3,3 и 3,5 грамм. Установлено, что у муки «Увелка» минимальная концентрация, при которой происходит взрыв, составляет 44 гр/м³, у муки «Царь» – 41 гр/м³, у муки «Макфа» и «Ситно» – 43 гр/м³.

Определение максимального давления взрыва определяется путем увеличения навески муки до тех пор, пока график кривой не станет снижаться, после чего испытания прекращаются. Зависимость максимального давления взрыва и скорости его нарастания для муки «Увелка», «Царь», «Макфа» и «Ситно» от концентрации мучной пыли представлена в таблице 6.

На основании максимального давления взрыва по формуле (17) определяем скорость нарастания давления взрыва мучной пыли (таблица 6).

Таблица 6 – Зависимость максимального давления взрыва и скорости его нарастания муки разных производителей от концентрации мучной пыли

Концентрация, гр/м ³	25	36	44	51	65	95	239	384	427	455	500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
«Увелка»											
Максимальное давление взрыва, кПа	57	58	59	62	136	300	441	529	528	520	-
Скорость нарастания давления взрыва, МПа/с	0,94	0,96	0,98	1,0	2,25	5	7,3	8,8	8,7	8,6	-
«Царь»											
Максимальное давление взрыва, кПа	51	54	57	60	65	126	351	407	339	-	-
Скорость нарастания давления взрыва, МПа/с	0,85	0,9	0,95	1	1,1	2,1	5,8	6,7	5,6	-	-

Продолжение таблицы 6

Концентрация, гр/м ³	25	36	44	51	65	95	239	384	427	455	500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
«Макфа»											
Максимальное давление взрыва, кПа	55	56	117	150	200	219	391	481	542	538	-
Скорость нарастания давления взрыва, МПа/с	0,9	0,92	1,6	2,3	3,3	5	7,8	9	8,9	8,8	-
«Ситно»											
Максимальное давление взрыва, кПа	66	70	77	99	287	389	444	505	569	636	630
Скорость нарастания давления взрыва, МПа/с	0,99	1	1,1	1,3	1,65	4,5	7,3	9,4	10,5	10,4	10,2

Зависимость максимального давления взрыва муки разных производителей («Увелка», «Царь», «Макфа», «Ситно») от концентрации мучной пыли представлена на рисунке 22.

Из таблицы 6 и рисунка 22 видно, что с увеличением концентрации мучной пыли возрастает и максимальное давление взрыва, но до определенного момента, после чего при увеличении концентрации – максимальное давление взрыва начнет снижаться.

На рисунке 23 показано влияния максимального давления взрыва, и концентрации мучной пыли на скорость нарастания давления взрыва.

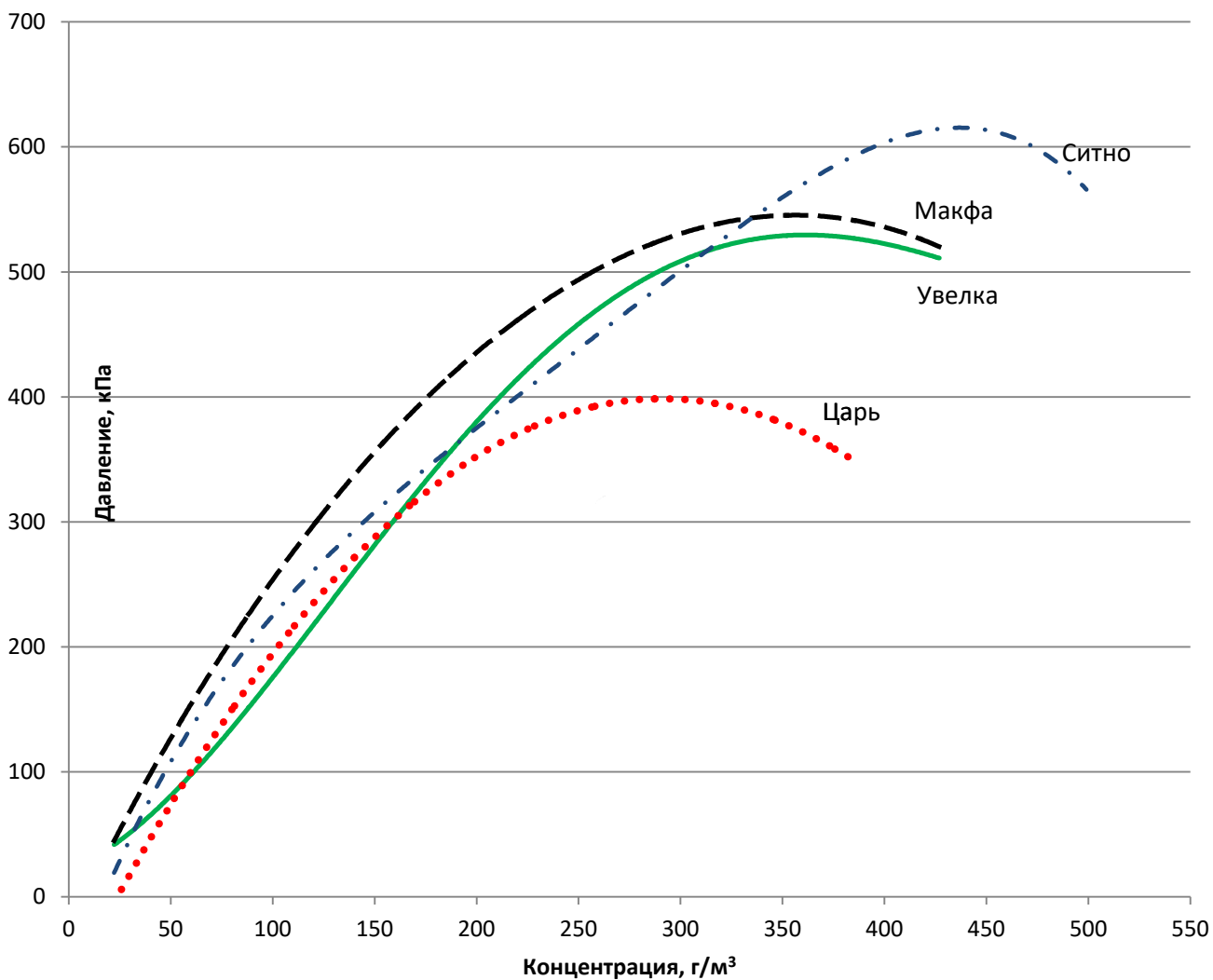


Рисунок 22 – Зависимость максимального давления взрыва муки разных производителей от концентрации мучной пыли

Такая же тенденция происходит и со скоростью нарастания давления взрыва, при увеличении максимального давления взрыва и концентрации мучной пыли, растет и его скорость.

Результаты проведения экспериментального метода по определению основных взрывопожароопасных свойств муки разных производителей представлены в таблице 7.

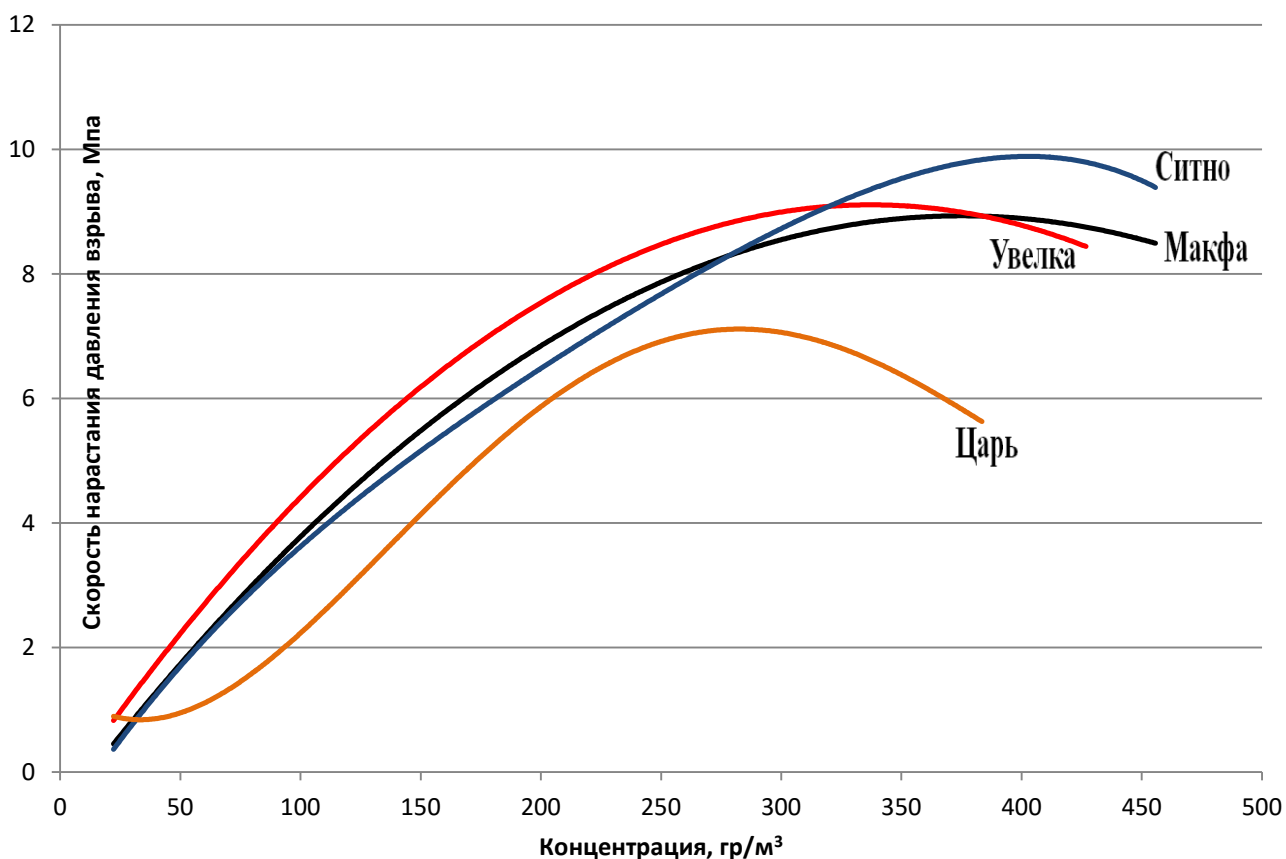


Рисунок 23 – Зависимость максимального давления взрыва и концентрации мучной пыли на скорость нарастания давления взрыва

Таблица 7 – Экспериментальные методы исследования мучной пыли

Показатели	Экспериментальные показатели			
	Марка муки			
	Царь	Увелка	Макфа	Ситно
НКПР, гр/м ³	41	44	43	43
ΔP_{\max} , кПа	407	529	542	636
$\Delta P/\Delta t$, МПа/с	6,7	8,7	8,9	10,6

Из таблицы 7 видно, что мука «Царь» содержит наименьший показатель НКПР (41 гр/м³), у производителей «Макфа» и «Ситно» НКПР равен 43 гр/м³ и самый высокий показатель у муки «Увелка» – 44 гр/м³.

Зависимость НКПР от размера частиц мучной пыли представлена на рисунке 24.

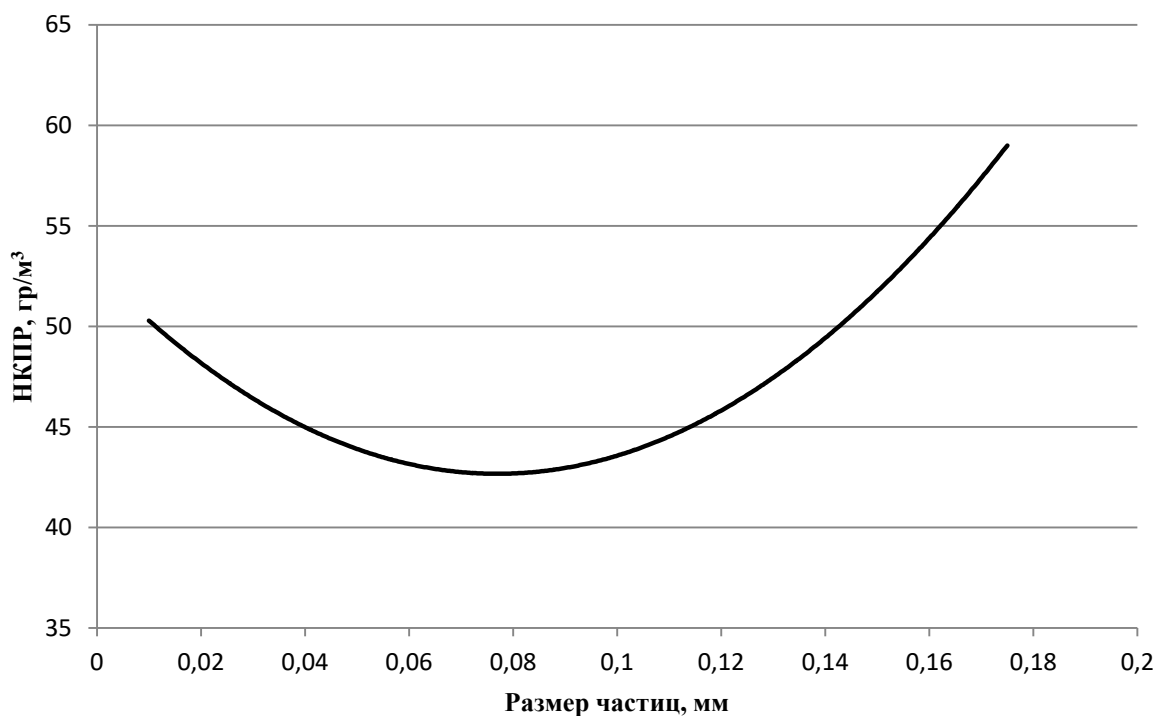


Рисунок 24 – Зависимость НКПР от размера частиц мучной пыли

Из рисунка 24 видно, что при увеличении размера частиц мучной пыли от 0,08 мм и выше НКПР возрастает. Так как мука «Царь» имеет наибольшее количество мучной фракции размером 0,08–0,125 мм, следовательно, и данная мука имеет наименьший НКПР. Отличие в гранулометрическом составе муки разных производителей не оказывает значительного влияния на НКПР, величина которого находится в пределах 41–44 гр/м³ (таблица 5).

3.2 Расчетный метод исследования мучной пыли

Существует два метода для нахождения основных взрывопожароопасных показателей мучной пыли – расчетный и экспериментальный.

Метод экспериментального определения более предпочтителен и является обязательным, при отсутствии расчетного метода и в случае, если точность или область применения расчетных методов неудовлетворительна. Материальные и временные затраты на экспериментальное определение набора характеристик пожароопасных свойств для каждого вещества колоссальны, поэтому следует

подчеркнуть, что в ряде случаев расчетные методы позволяют получить данные, не уступающие по точности величинам, определенным экспериментально.

3.3 Метод расчета нижнего концентрационного предела распространения пламени пылевоздушной смеси

Значения НКПР рассчитывается по формуле (7) [44]:

$$НКПР = \frac{8 \cdot 10^5}{(-\Delta H_{cz}^0)}, \quad (7)$$

$$НКПР = \frac{8 \cdot 10^5}{13,38 \cdot 10^3} = 59,8 \text{ г/м}^3,$$

где ΔH_{cz}^0 – теплота сгорания вещества, кДж/кг.

Теплота сгорания мучной пыли составляет $13,38 \cdot 10^3$ кДж/кг.

3.4 Метод расчета максимального давления взрыва пылевоздушной смеси

Величина максимального давления взрыва P_{\max} , находящееся изначально в нормальных условиях находится по формуле (8) [44]:

$$P_{\max} = 0,7 \cdot P_{\max}^0, \quad (8)$$

где P_{\max} – максимальное давление взрыва пылевоздушной смеси, кПа;

P_{\max}^0 – максимальное давление взрыва, кПа.

Величина P_{\max}^0 рассчитывается по формуле (9):

$$P_{\max}^0 = 0,34 \cdot C_7 \cdot C_1 - 101,3, \quad (9)$$

$$P_{\max}^0 = 0,34 \cdot 1189 \cdot 1,1 - 101,3 = 393 \text{ кПа},$$

где

$$C_7 = 2000 + 24,4 \cdot C_2 \cdot (C_6 - C_5) / (C_1 - C_3) - C_4 / C_3;$$

$$C_7 = 2000 + 24,4 \cdot 49 \cdot (1674,1 - 422) / (1,1 - 1776) - 2,8 \cdot 10^6 / 1776 = 1189;$$

$$C_1 = 1 + (m_O + m_N + 1/2 m_H) / 9,6b;$$

$$C_1 = 1 + (5 + 1/2 \cdot 10) / 9,6 \cdot 11 = 1,1;$$

$$C_2 = m_c + 1/2 m_H + 1/2 m_N + 3,8b;$$

$$C_2 = 6 + 1/2 \cdot 10 + 3,8 \cdot 11 = 49;$$

$$C_3 = 53m_c + 23m_H + 14m_N + 110b;$$

$$C_3 = 53 \cdot 6 + 23 \cdot 10 + 110 \cdot 11 = 1776;$$

$$C_4 = (0,83m_c + 0,33m_H + 0,24m_N + 1,8b) \cdot 10^5;$$

$$C_4 = (0,83 \cdot 6 + 0,33 \cdot 10 + 1,8 \cdot 11) \cdot 10^5 = 2,8 \cdot 10^6;$$

$$C_5 = 8,5(7,6m_c + 19,2m_H - 4,3m_O - 4,3m_N) / b + 225;$$

$$C_5 = 8,5(7,6 \cdot 6 + 19,2 \cdot 10 - 4,3 \cdot 5) / 11 + 225 = 422;$$

$$C_6 = 8,5 \cdot 10^{-3} (\Delta H_{\sigma}^0) \cdot M / b.$$

$$C_6 = 8,5 \cdot 10^{-3} (13,38 \cdot 10^3) \cdot 162 / 11 = 1674,1.$$

b – стехиометрический коэффициент кислорода (10):

$$b = m_c + (1/4)m_H - (1/2)m_O, \quad (10)$$

$$b = 6 + (1/4) \cdot 10 - (1/2) \cdot 5 = 11,$$

где M – молекулярная масса, рассчитываемая по формуле (11):

$$M = 12m_c + m_H + 16m_O + 14m_N, \quad (11)$$

$$M = 12 \cdot 6 + 10 + 16 \cdot 5 + 14 \cdot 0 = 162,$$

где m_c , m_H , m_O , m_N – соответственно число атомов углерода, водорода, кислорода и азота, входящих в молекулу вещества.

При разработке систем взрывопожарозащиты производства, когда расчетное значение показателя соответствует результатам крупномасштабных огневых испытаний, рекомендуется использовать оценку показателя P_{\max} по формуле (13):

$$P_{\max} = P_{\max}^0 = 393 \text{ кПа}. \quad (13)$$

При отсутствии возможности расчета показателя по формуле (8) допускается принимать значение P_{\max} , равное 1,2 МПа [44].

3.5 Метод расчета скорости нарастания давления взрыва пылевоздушной смеси

Скорость нарастания давления взрыва пылевоздушной смеси определяют по формуле (17) [44]:

$$\left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{\max} = P_{\max} \frac{S_n}{L}, \quad (17)$$

$$\left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{\max} = 393 \cdot \frac{6,67}{0,4} = 6,5 \text{ МПа},$$

где S_n – максимальная эффективная скорость распространения пламени по аэрозвеси в условиях стандартных испытаний, м/с [44];

$S_n = 6,67$ м/с для зерновых и комбикормовых пылей.

В таблице 8 представлены результаты расчетного метода определения основных взрывопожароопасных показателей мучной пыли.

Таблица 8 – Результаты расчетного метода определения основных взрывопожароопасных показателей мучной пыли

Показатели	НКПР, гр/м ³	ΔP_{max} , кПа	$\Delta P/\Delta t$, МПа/с
Расчетные показатели	59,8	393	6,5

Вывод по третьей главе

В данной главе с помощью экспериментального и расчетного метода определены основные взрывопожароопасные показатели мучной пыли: НКПР, максимального давления взрыва и скорости его нарастания.

Установлено, что максимальное количество мелкой пыли содержится в муке производителей «Макфа» и «Ситно». С увеличением концентрации мучной пыли максимальное давление взрыва, и скорость его нарастания возрастает до определенного момента, далее – максимальное давление взрыва и скорость его нарастания начинает снижаться.

Определенно, что у муки «Царь» минимальная концентрация, при которой происходит взрыв, составляет 41 гр/м³.

4 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ МУЧНОЙ ПЫЛИ

Проведем сравнительный анализ взрывопожароопасных показателей муки разных производителей с помощью расчетного и экспериментального метода. Результаты определения максимального давления взрыва муки разных производителей с помощью экспериментального метода представлены на рисунке 25.

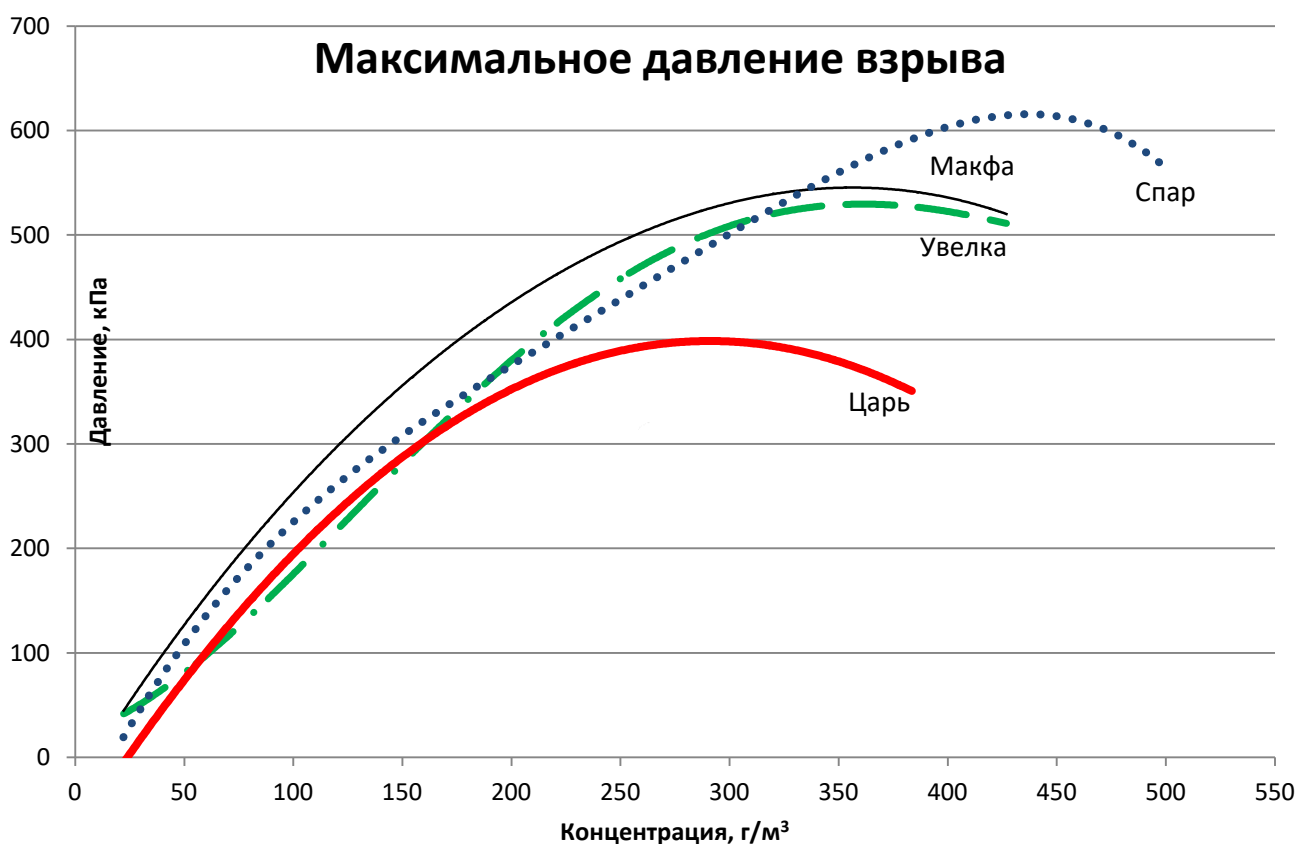


Рисунок 25 – Максимальное давление взрыва муки разных производителей

Из рисунка 25 видно, что максимальным давлением взрыва характеризуется мука производителя «Ситно» (636 кПа), близкие значения у муки «Увелка» (529 кПа) и «Макфа» (542 кПа), наименьшее максимальное давление взрыва у муки «Царь» (407 кПа).

Аналогичная тенденция наблюдается при определении показателя скорости нарастания давления взрыва муки разных производителей (рисунок 26).

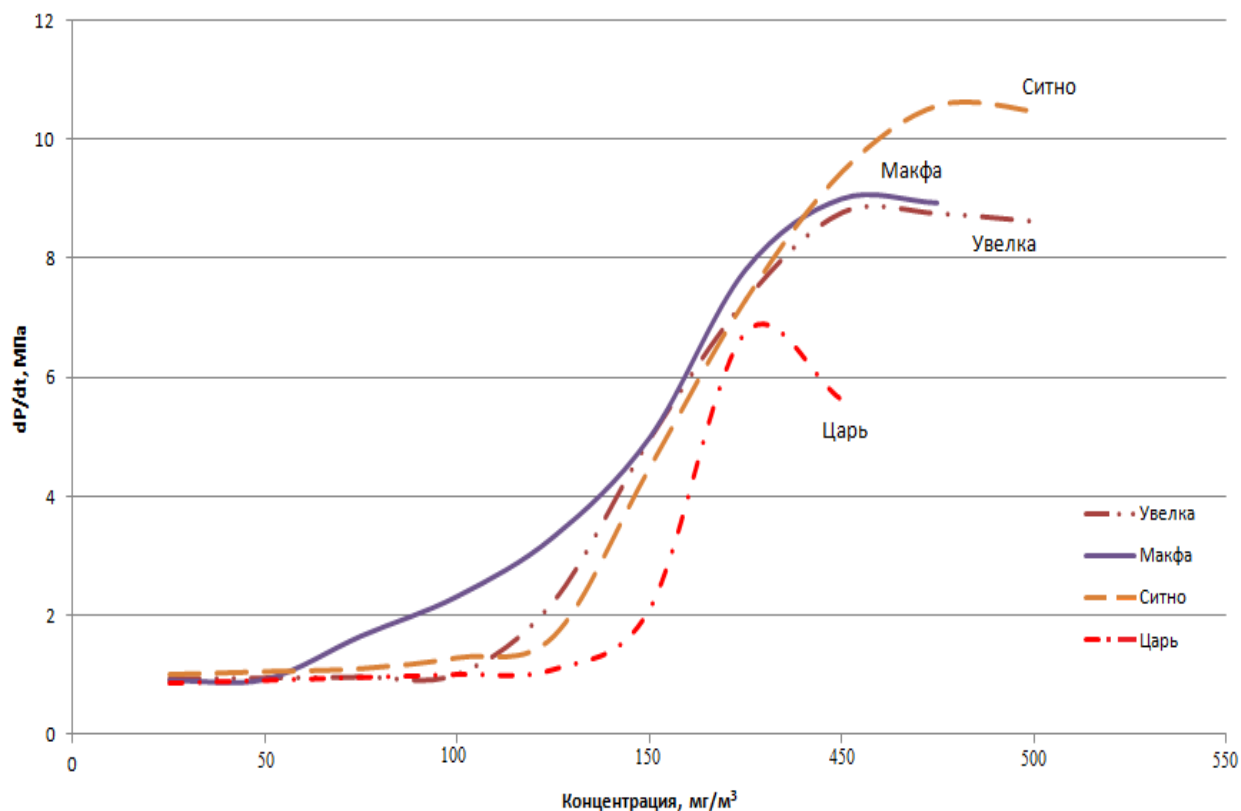


Рисунок 26 – Скорость нарастания давления взрыва муки разных производителей

Наибольшая скорость нарастания давления взрыва (рисунок 28) у муки «Ситно» (10,6 МПа), близкие значения имеют мука «Увелка» (8,7 МПа) и «Макфа» (8,9 МПа), наименьший показатель у муки «Царь» (6,7 МПа).

В таблице 8 представлены результаты расчетного и экспериментального метода определения основных показателей взрывопожароопасности мучной пыли.

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных методов определения взрывопожароопасных показателей мучной пыли (таблица 8) показал, что расчетные показатели и справочные данные отличаются от экспериментальных показателей. На основании проведенных результатов установлено, что мука производителя «Царь», содержит максимальное количество мелких фракций и характеризуется наименьшим показателем НКПР.

Таблица 8 – Расчетные и экспериментальные показатели взрывопожароопасности мучной пыли

Показатели	Справочные данные	Расчетные показатели	Экспериментальные показатели			
			Марка муки			
			Царь	Увелка	Макфа	Ситно
НКПР, гр/м ³	15–40	59,8	41	44	43	43
ΔP_{\max} , кПа	520	393	407	529	542	636
$\Delta P/\Delta t$, МПа/с	1,2–10,6	6,5	6,7	8,7	8,9	10,6

Наибольший показатель максимального давления взрыва и скорости нарастания давления взрыва у муки «Ситно», что может быть обусловлено повышенным содержанием мелкой фракции 0,125 мм, в сравнении с мукой других производителей.

При увеличении размера частиц мучной пыли от 0,08 мм и выше НКПР возрастает. Так как мука «Царь» имеет наибольшее количество мучной фракции размером 0,08–0,125 мм, следовательно, и данная мука имеет наименьший НКПР.

Размер частиц мучной пыли может обуславливаться отличием технологической схемой помола зерна, разной степенью очистки и наличием посторонних фракцией в муке, которые способны повлиять на взрывопожароопасные свойства муки.

Следует констатировать, что расчетные методы и справочные данные чаще не соответствуют показателям, определенным экспериментальным методом. Поэтому не представляется возможным достоверно оценить взрывопожарную опасность производства. Таким образом, на основании проведенного анализа установлено, что экспериментальные методы позволяют более точно определить взрывопожароопасные показатели муки и оценить пожарную опасность ее производства.

Вывод по четвертой главе

Проведен сравнительный анализ экспериментального и расчетного метода по определению основных показателей взрывопожароопасности мучной пыли.

На основании проведенных результатов установлено, что мука производителя «Царь», содержит максимальное количество мелких фракций и характеризуется наименьшим показателем НКПР.

Наибольший показатель максимального давления взрыва и скорости нарастания давления взрыва у муки «Ситно».

Установлено, что экспериментальные методы позволяют более точно определить взрывопожароопасные показатели муки и оценить пожарную опасность ее производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе магистерской диссертации рассмотрены статистические данные по возникновению пылевых взрывов и их причины за последние 20 лет. Проведен анализ технологического взрывоопасного оборудования, рассмотрена технология мукомольного производства и методы предупреждения взрывов и пожаров.

Изучены основные взрывопожароопасные свойства горючих веществ и материалов, расчетные и экспериментальные методы определения взрывопожароопасных свойств горючих пылей: НКПР, максимального давления взрыва и скорости его нарастания. Рассмотрен принцип работы установок по определению взрывопожароопасных свойств горючих пылей и методики их определения.

Рассмотрены основные характеристики мучной пыли разных производителей («Увелка», «Макфа», «Царь» и «Ситно») и описаны основные методики проведения эксперимента (ситовой анализ, определения взрывопожароопасных свойств горючих пылей). Изучен принцип действия установки по определению взрывопожароопасных свойств горючих пылей.

Изучен принцип действия установки по определению взрывопожароопасных свойств горючих пылей.

С помощью экспериментального и расчетного метода определены основные взрывопожароопасные показатели мучной пыли: НКПР, максимального давления взрыва и скорости его нарастания.

Установлено, что содержание в муке фракций от 0,2 до 0,16 мм у производителя «Увелка» более 85 %, у производителя «Царь» – 74 %, «Макфа» и «Ситно» примерно 79 %. Количество мелких фракций (0,125 и 0,08 мм) составляет – 13, 25 и 21 % соответственно. Следует отметить, что максимальное количество мелкой пыли размером 0,08 мм содержится в муке производителей «Макфа» (7,7 %) и «Ситно» (5,5 %), минимальное – «Царь» (4,2 %) и «Увелка» (4,4 %).

Определено, что у муки «Увелка» минимальная концентрация, при которой происходит взрыв, составляет 44 гр/м³, у муки «Царь» – 41 гр/м³, у муки «Макфа» и «Ситно» – 43 гр/м³. При увеличении размера частиц мучной пыли от 0,08 мм и выше НКПР возрастает. Так как мука «Царь» имеет наибольшее количество мучной фракции размером 0,08–0,125 мм, следовательно, и данная мука имеет наименьший НКПР. Отличие в гранулометрическом составе муки разных производителей не оказывает значительного влияния на НКПР, величина которого находится в пределах 41–44 гр/м³.

Выявлено, что с увеличением концентрации мучной пыли возрастает и максимальное давление взрыва, но до определенного момента, после чего при увеличении концентрации – максимальное давление взрыва начнет снижаться. Наибольшим максимальным давлением взрыва характеризуется мука производителя «Ситно» (636 кПа), близкие значения у муки «Увелка» (529 кПа) и «Макфа» (542 кПа), наименьшее максимальное давление взрыва у муки «Царь» (407 кПа).

Такая же тенденция происходит и со скоростью нарастания давления взрыва, при увеличении максимального давления взрыва и концентрации мучной пыли, растет и его скорость. Наибольшая скорость нарастания давления взрыва (рисунок 28) у муки «Ситно» (10,6 МПа), близкие значения имеют мука «Увелка» (8,7 МПа) и «Макфа» (8,9 МПа), наименьший показатель у муки «Царь» (6,7 МПа).

Наибольший показатель максимального давления взрыва и скорости нарастания давления взрыва у муки «Ситно», что может быть обусловлено повышенным содержанием мелкой фракции 0,125 мм, в сравнении с мукой других производителей.

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных методов определения взрывопожароопасных показателей мучной пыли показал, что расчетные показатели и справочные данные отличаются от экспериментальных показателей.

Следует констатировать, что расчетные методы и справочные данные чаще не соответствуют показателям, определенным экспериментальным методом. Поэтому не представляется возможным достоверно оценить взрывопожарную опасность производства. Таким образом, на основании проведенного анализа установлено, что экспериментальные методы позволяют более точно определить взрывопожароопасные показатели муки и оценить пожарную опасность ее производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айвазян, В.А. Прикладная статистика: справ. издание: в 3 т / В.А. Айвазян, А.И. Орлов – М.: Финансы и статистика, 1989. – Т.1. – 472 с. – Т.2. – 488 с. – Т.3. – 608 с.
2. Баратов, А. Н. О пожарной опасности твердых веществ / А.Н. Баратов – М.: ЦНИИПО, 1961. – 3-12 с.
3. Баратов, А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А.Н. Баратов – М.: Химия, 1990. – 495 с.
4. Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности / С. В. Белов, И.В. Ильницкая и др. – М.: Высшая школа, 2007. – 616 с.
5. Беркутова, Н.С. Технологические свойства пшеницы и качество продуктов ее переработки / Н.С. Беркутова, И.А. Швецова – М.: Колос, 1984. – 223 с.
6. Бутковский, В.А. Технологическое оборудование мукомольного производства / В.А. Бутковский, Г.Е. Птушкина – М.: Изд-во: ГП «журнал хлебопродукты», 1999. – 208 с.
7. Бутковский, В.А., Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства / В.А.Бутковский, Е.М. Мельников – М.: Агропромиздат, 1989. – 464 с.
8. Васильев, В.Я. Взрывобезопасность на предприятиях по хранению и переработке зерна / В.Я. Васильев, Л. И. Семенов – М.: Колос, 1983. – 224 с.
9. Воднев, П.П. Теория горения и взрыва: конспект лекций / П.П. Воднев. – Ульяновск.: УВАУ ГА(И), 2010. – 180 с.
10. Волкова, П.А. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах: учебное пособие / П.А. Волкова, А.Б. Шипунов. – М.: Экопресс, 2008. – 60с.
11. Годжелло, М. Г. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение / М.Г. Годжелло – М.: МКХ РСФСР, 1952. – 142 с.
12. Горбунова, Л.Н. Основы промышленной безопасности / Л.Н. Горбунова, С.И. Васильев. – Красноярск.: Сибирский федеральный университет, 2012. – 594 с.
13. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартиформ, 1976. – 6 с.
14. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартиформ, 1989. – 99 с.
15. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Изд-во стандартиформ, 1971. – 76 с.
16. ГОСТ 8894–86. Трубы стеклянные и фасонные части к ним. Технические условия. – М.: Изд-во стандартиформ, 1986. – 22 с.

17. ГОСТ Р ИСО 5223–99. Сита лабораторные для анализа зерновых культур. Технические требования. – М.: Изд-во стандартиформ, 1999. – 5 с.
18. ГОСТ Р 52189-2003. Мука пшеничная. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 11 с.
19. Гусаров, В.М. Статистика: учебное пособие / В.М. Гусаров – М.: Юнити, 2003. – 463 с.
20. Долин, П. А. Справочник по технике безопасности / П.А.Долина. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
21. Долин, П.А. Электробезопасность, теория и практика. Учебник для вузов / П.А. Долин, В.Т. Ведмедев – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 280 с.
22. Егоров, Г.А. Технология муки, крупы и комбикормов / Г.А. Егоров, Е.М. Мельников, Б.М. Максимчук – М.: Колос, 1984. – 376 с.
23. Егоров, Г.А. Технология переработки зерна / Г.А.Егоров – М.: Колос, 1989. – 472 с.
24. Елисеева, И.И. Общая теория статистики: учебник / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.
25. Зеленкин, В.Г. Теория горения и взрыва: конспект лекций / В.Г. Зеленкин, С.И. Боровик, М.Ю. Бабкин. – Челябинск.: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 166 с.
26. Калинина, В.М. Охрана труда на предприятиях пищевой промышленности / В.М. Калинина. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с.
27. Карауш, С.А. Оценка параметров промышленных взрывов: учебное пособие / С.А. Карауш. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 96 с.
28. Клубань, В. С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса / В.С. Клубань, А.П. Петров, В.С. Рябиков. – М.: Стройиздат, 1987. – 478 с.
29. Комков, Б. Д. Справочник по охране труда на хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятиях / Б.Д. Комков, А.В. Галкина, А.Ф.Теплов. – М.: Колос, 1981. – 319 с.
30. Корольченко, А. Я. Оценка пожаровзрывоопасности промышленных пылей / А. Я. Корольченко, А. П. Шевчук. – М.: ВНИИПО, 1981, – 38 с.
31. Корольченко, А. Я. Оценка пожаровзрывоопасности промышленных пылей: Обзорная инф. Сер. Пожарная безопасность / А.Я. Корольченко. – М.: ВНИИПО, 1982, Вып. 5. – 40 с.
32. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А.Я. Корольченко. – М.; Изд-во Химия, 1986 – 216 с.
33. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – М.: Асс. «Пожнаук», 2004. – Ч.1. – 713с. Ч.2. – 774с.
34. Корольченко, А.Я. Расчет концентрационных пределов воспламенения / А.Я. Корольченко, А.В. Иванов, Ю.Н. Шебеко. – М.: ВНИИПО, 1982. – 48 с.

35. Коузов, П.А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / П.А. Коузов, Л.Я. Скрябина. – Л.: Химия, 1983. – 143 с.
36. Кремлев, А.Г. Математика. Раздел «статистика»: учебное пособие / А.Г. Кремлев. – Екатеринбург: Изд-во УрГЮА, 2001. – 140 с.
37. Малин, Н. И. Технология хранения зерна / Н.И. Малин. – М.: Колос, 2005. – 280 с.
38. Мартьянова, А.И. Оценка технологических свойств товарных партий зерна пшеницы / А.И. Мартьянова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 152 с.
39. Мерко, И.Т. Технология мукомольного и крупяного производства / И.Т. Мерко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 288 с.
40. Михайлов, Л.А. Безопасность жизнедеятельности / Л.А. Михайлов. – СПб, 2012. – 461 с.
41. Никольский, Б.П. Справочник химика (в 7-ми томах) / Б.П. Никольский. – М.: Химия, 1968. – 467 с.
42. ПБ 14-586-03. Правила промышленной безопасности для взрывопожароопасных производственных объектов хранения, переработки и использования растительного сырья. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2009. – 122 с.
43. Платонов, А.Л. Охрана труда / А.Л. Платонов, Н.Е. Архищев. – М.: МУПК, 1998. – 321 с.
44. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов: Руководство. – М.: ВНИИПО, 2002. – 77 с.
45. Рябова, И.В. Пожарная опасность веществ и материалов / И. В. Рябова. – М.: Стройиздат, 1966. – 242 с.
46. Семенов, Л.И. Взрывобезопасность элеваторов, мукомольных и комбикормовых заводов / Л.И. Семенов, Л.А.Теслер. – М.: Агропромиздат, 1991. – 367 с.
47. Соколов, А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А.Я. Соколов. – М.: Колос, 1975. – 496 с.
48. Таубкин, С. И. Классификация пылей по взрывоопасным свойствам / С.И. Таубкин, И. С. Таубкин. – М.: Химическая промышленность, 1976 – 427-429 с.
49. Таубкин, С. И. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки / С.И. Таубкин, И. С. Таубкин. – М.: Химия, 1976. – 264 с.
50. Шилова, А.В. Технология и оборудование мукомольной, крупяной и комбикормовой промышленности / А.В. Шилова. – М.: Изд-во МГАПП, 1996. – 438 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Лабораторная работа

Определение нижнего концентрационного предела распространения пламени и максимального давления взрыва

Цель работы: изучить методику и определить взрывопожароопасные свойства пылевоздушных смесей.

1 Основные положения

Знание взрывопожароопасных свойств горючих веществ и материалов является основой инженерных методов обеспечения безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования, безопасности людей. Для разработки мер по предотвращению пожара и возникновения взрыва, а также для возможных условий их формирования и подавления, необходимы различные данные.

Взрывопожароопасные свойства всегда находятся в процессах, реализуемых не только различных отраслях промышленности (газовой, нефтяной, химической), но и в строительстве, транспорте, везде, где присутствует человеческая деятельность [2,4].

К взрывопожароопасным вещества или материалам относят свойства, которые способны благоприятствовать возникновению горения с дальнейшим пожаром или взрывом. В основном это самые различные по происхождению вещества, с различной химической природой.

В соответствии с требованиями норм технологического проектирования, для разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, определения категории помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями ГОСТ определяют показатели взрывопожароопасности веществ и материалов. При проведении анализа пожарной опасности технологических процессов проводят сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов,

обращающихся в технологическом процессе, с параметрами технологического процесса (ГОСТ Р 12.3.047–12. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля).

Пыль – диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм.

Самым опасным последствием из-за образования пыли является пылевой взрыв. Пылевой взрыв – быстрое сгорание частиц пыли в подвешенном состоянии в воздухе. Ежегодно все предприятия данного типа подвержены пожару и полевому взрыву, который по своей мощности может разрушить все производства. Основным источником к возможному взрыву является трение зерен, во время любого перемещения зерна. При маленькой концентрации обладает колоссальной разрушительной силой. Взрыв пыли происходит мгновенно и приводит к увеличению температуры и давления.

Основные факторы, из-за которых происходят пылевые взрывы:

- достаточное количество воздуха;
- пыль на полу, в оборудовании, в трубах, внутри конвейеров и норий;
- при работающем оборудовании есть взвесь зерновой пыли в воздухе, особенно в зонах приемки, перемещения или переработки зерна;
- присутствуют различные источники возгорания (короткое замыкание, статическое электричество, перегрев подшипника, сход ленты, засыпанная нория, сварочные работы, резка металла и т.д.).

Большинство аварий заканчивалось тем, что разрушалось практически все оборудование, здания или сооружения. Наиболее подвергались разрушению – элеваторы (45 %), мукомольные заводы (35 %), а также комбикормовые заводы (20 %) [2].

К важным показателям, характеризующих взрывопожароопасность пыли относят нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), максимальное давление взрыва и скорости его нарастания.

Нижний концентрационный предел распространения пламени – минимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с

окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Максимальное давление взрыва – наибольшее избыточное давление, возникающее при дефлаграционном сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси 101,3 кПа [1].

Скорость нарастания давления взрыва – производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления взрыва горючей смеси в замкнутом сосуде от времени.

Существует два метода для нахождения основных взрывопожароопасных показателей мучной пыли – расчетный и экспериментальный. Метод экспериментального определения более предпочтителен и является обязательным, при отсутствии расчетного метода и в случае, если точность или область применения расчетных методов неудовлетворительна. Материальные и временные затраты на экспериментальное определение набора характеристик пожароопасных свойств для каждого вещества колоссальны, поэтому следует подчеркнуть, что в ряде случаев расчетные методы позволяют получить данные, не уступающие по точности величинам, определенным экспериментально [3].

2 Экспериментальный метод определения НКПР, максимального давления взрыва и скорости его нарастания

Экспериментальные исследования проводились на установке по определению основных показателей взрывопожароопасности веществ: максимального давления взрыва, нижнего концентрационного предела распространения пламени (ГОСТ 12.1.044-89 (2001) [1].

Установка в соответствии с новыми требованиями и техническими условиями представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид установки согласно ГОСТ 12.1.044-89 (2001):
 1 – реакционный сосуд; 2 – датчик давления; 3 – вытяжной шкаф;
 4 – электромагнитный клапан; 5 – компрессор; 6 – блок питания;
 7 – регулятор мощности; 8 – ПЭВМ

Реакционный сосуд, имеет форму цилиндра высота которого (450 ± 25) мм, внутренний диаметр – (105 ± 5) мм. Он сделан из нержавеющей стали и рассчитан на рабочее давление до 1 МПа. Сосуд снабжен штуцерами для подачи газовых компонентов и подсоединения датчика давления. Установка также оснащена реакционным сосудом из стеклянной трубы по ГОСТ 8894 высотой (450 ± 25) мм, внутренним диаметром (10 ± 2) мм и толщиной стенки (7 ± 1) мм. Система газоприготовления и распыления исследуемого вещества, рассчитанная на рабочее давление до 1 МПа, состоит из:

- конусного распылителя с углом раствора $(30 \pm 5)^\circ$, который является верхней крышкой реакционного сосуда и выполнен из нержавеющей стали;
- форкамеры, в которую помещают образец исследуемого вещества;
- обратного клапана и клапана с электроприводом, время открытия электропневмоклапана $(0,3 \pm 0,1)$ с;

- ресивера с трубопроводами вместимостью $(1,0 \pm 0,2)$ дм³;
- манометра класса точности 0,25.

Условный диаметр прохода трубопроводов должен быть $(10,0 \pm 0,5)$ мм, элементов системы газоприготовления и распыления не менее 10 мм, вентилях не менее 4 мм. Длина трубопроводов между ресивером и распылителем должна составлять $(0,9 \pm 0,1)$ м.

Источник зажигания, представляющий собой нагреваемую электрическим током до температуры (1050 ± 50) °С спираль из проволоки марки Х80Н20–Н (ГОСТ 12766.1) диаметром 0,8 мм. Длина спирали (50 ± 1) мм, внутренний диаметр спирали $(8,0 \pm 0,5)$ мм; число витков 30; потребляемая мощность при токе $(13,0 \pm 0,5)$ А составляет (475 ± 25) Вт, время выхода на рабочую температуру (8 ± 1) с. Спираль расположена горизонтально на оси цилиндра на расстоянии (150 ± 5) мм от нижнего фланца.

На данной установке вставлен амперметр и вольтметр, чтобы контролировать процесс нагрева спирали, а также можно проконтролировать технического состояния установки. Также установка оснащена датчиком давления, электромагнитным и промежуточным реле. Подача пыли в форкамеру осуществляется за счет компрессора, оснащённый ресивером и контрольно-измерительной аппаратурой (манометрами). Установлен блок питания, ПЭВМ, ЛАТР-1М [1].

3 Указания мер безопасности перед проведением эксперимента

На установке производятся опыты с взрывопожароопасными порошками. Приготовление и взвешивание проб производится отдельно, на другом оборудовании.

Установка по определению показателей взрывопожароопасности пылевоздушных смесей должна находиться в помещении при температуре не ниже 15 °С.

Все металлические части установки должны быть надежно заземлены.

Реакционный сосуд должен иметь прочность, достаточную для того, чтобы выдерживать развиваемое в них давление.

В вытяжном шкафу не должно быть никаких источников воспламенения.

По окончанию опытов должна быть проведена пылеуборка в вытяжном шкафу и вокруг установки.

Рабочее место должно соответствовать требованиям электробезопасности и санитарно-гигиеническим нормам.

4 Подготовка установки к работе

Перед началом работы необходимо провести очистку реакционного сосуда, спиралей, форкамеры и внутреннего объёма шкафа от пыли.

Проверить соответствие исследуемого вещества паспортным данным по внешнему виду, влажности, дисперсности, зольности, а для плавящихся веществ - дополнительно по температуре плавления.

Провести отсев частиц: при испытании используют пыли с размером частиц менее 50 мкм для металлических веществ и менее 100 мкм для других веществ.

4.1 Проверка работоспособности установки

4.1.1 Открыть нижнюю крышку реакционного сосуда и убедиться что внутренняя сторона крышки чистая (при необходимости почистить её). Выкрутить форкамеру распыления, проверить, нет ли в нем остатков пыли предыдущего опыта (при необходимости почистить) и вкрутить обратно.

4.1.2 В исходном состоянии установка выключена: щиток выключен (индикатор не горит), ПЭВМ и компрессор отключены от сети.

4.1.3 Включить тумблер на щитке автоматического выключателя, включить ПЭВМ и компрессор

4.1.4 На рабочем столе запустить программу explosion или искать её на жёстком диске компьютера. Запустить её и ждать открытия браузера

4.1.5 Описание интерфейса программы изображено на рисунке 2.

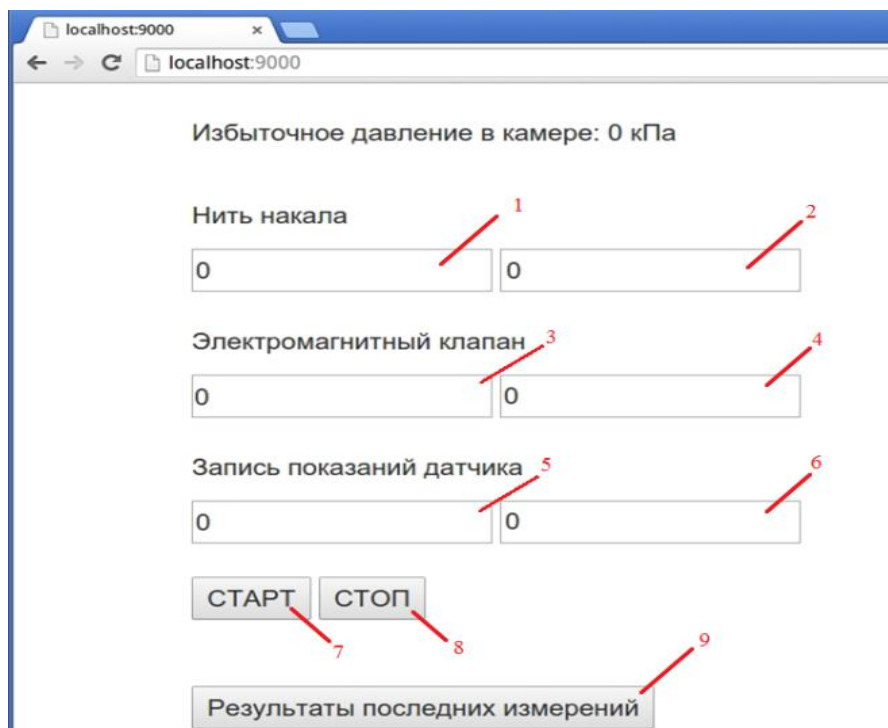


Рисунок 2 – Интерфейс программы:

1 – начальное время работы нити накала; 2 – конечное время работы нити накала; 3 – начальное время срабатывания электромагнитного клапана; 4 – конечное время срабатывания электромагнитного клапана; 5 – начальное время записи датчика; 6 – конечное время записи датчика; 7 – начало эксперимента; 8 – остановка эксперимента; 9 – показать результат последнего измерения

4.1.6 Проверить работу нити накала. Для этого нужно открыть нижнюю крышку реакционного сосуда так, чтобы были видны спирали. В программе explosion выставить значение в ячейках «Нить накала» начальное время 0, конечное 10. В остальных ячейках 0. Нажать старт, убедиться, что на экране ПЭВМ дублируется процесс нагрева. Наблюдать со стороны за нитью накала (должна нагреться и стать красной). Убедиться, что на вольтметре и амперметре достигнуты значения диагностических параметров.

4.1.7 Проверить работу электромагнитного клапана. Для этого необходимо открыть нижнюю крышку реакционного сосуда, набрать давление в компрессоре до двух атмосфер (для этого отжать красную кнопку вверх и ждать показания на манометре 2–3 атмосферы, после зажать красную кнопку обратно), выставить в ячейках «Электромагнитный клапан» начальное время 2, конечное 4. В

остальных ячейках 0. Нажать кнопку старт, убедиться, что на экране ПЭВМ процесс дублируется. Наблюдать за процессом необходимо с безопасного расстояния. Через две секунды электромагнитный клапан сработает, через установку пройдет воздух и еще через две секунды электромагнитный клапан закроется;

4.1.8 Проверить записи показаний датчика. Для этого следует закрутить нижнюю крышку реакционного сосуда до упора, набрать в компрессоре 2–3 атмосферы, выставить в ячейках «Электромагнитный клапан» начальное время 1, конечное 3. В ячейках «Запись показаний датчика» выставить начальное время 0, конечное 4. В ячейках «Нить накала» выставить 0. Нажать кнопку старт, убедиться, что на экране ПЭВМ процесс дублируется. Наблюдать за процессом необходимо с безопасного расстояния. Через две секунды откроется электромагнитный клапан, после открытия клапана нажать кнопку «Результаты последних измерений». На экране появится график с показаниями давления, далее нажать кнопку «назад» для возврата на исходную страницу. В компрессоре с помощью кольца под пусковой кнопкой снизить давление до 0. Открыть нижнюю крышку реакционного сосуда, чтобы удалить оставшееся давление в реакционном сосуде;

4.1.9 Если все пункты выполнены успешно, то установка готова к работе.

4.2 Последовательность выполнения операции при проведении экспериментальных работ

4.2.1 Определения НКПР

Следует поместить навеску 0,5 г исследуемого вещества в форкамеру и плотно закрутить её. Набрать давление в компрессоре (для этого отжать красную кнопку вверх и ждать показания на манометре 2–3 атмосферы, после зажать красную кнопку обратно). Выставить в ячейках «Нить накала» начальное значение 0, конечное значение 20, «Электромагнитный клапан» начальное время 20, конечное 20,3, «Запись показаний датчика» начальное время 19, конечное 23. Нажать кнопку «старт». Визуально наблюдать в смотровом отверстии реакционного сосуда за воспламенением. На ПЭВМ дублируется процесс

эксперимента. Если горение отсутствовало, то принимается что произошел отказ.

После этого нужно аккуратно ослабить крепление нижней крышки и медленно снижать давление газов в сосуде. Снять нижнюю крышку, и очистите её от осадка. Вывернуть форкамеру и взвесить остаток пыли. Поместить остаток пыли в тару для отходов.

Изменяя первоначальную массу навески, найдем её минимальное значение, при которой произойдет ее воспламенение. Результаты испытаний заносит в таблицу 1. В таблице указаны массы исходной навески, распыленной и масса остатка из форкамеры. При положительном результате опыта (воспламенение) ставим плюс в ячейку соответствующей номеру испытания и массе навески, при отрицательном результате (отказ) ставим минус.

Таблица 1 – Таблица проведенных испытаний для определения НКПР

№ навесок	Масса навески, мг	Воспламенение (+)или отказ (-) в испытаниях
	Исходная	
1	500	+
2	450	+
3	400	+
4	430	+
5	428	+
6	385	-
7	380	-

После того как все данные занесены в таблицу рассчитываем НКПР

НКПР рассчитывается по формуле:

$$\text{НКПР} = \frac{M_x}{v} \cdot K_{\text{п}}, \quad (1)$$

где M_x – математическое ожидание величины распыленной навески, соответствующий НКПР, мг;

$v = 4 \text{ л}^3$ – вместимость реакционного сосуда;

K_n – поправочный коэффициент (0,5).

Величина поправочного коэффициента (K_n) рассчитывается по формуле

$$K_n = \bar{K} - \Delta, \quad (2)$$

где \bar{K} – среднее значение относительно площади осадка, равное

$$\bar{K} = \frac{1}{n}, \quad (3)$$

n – число испытаний;

Δ – доверительный интервал, равный

$$\Delta = \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha}, \quad (4)$$

где S – дисперсия;

t_2 – квантиль распределения Стьюдента при одностороннем доверительном интервале и доверительной вероятности 0,95.

Значения квантиля в зависимости от числа испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение квантиля в зависимости от числа испытаний

n	t_2	n	t_2
10	1,833	13	1,782
11	1,812	14	1,771
12	1,796	15	1,761

4.2.2 Определение максимального давления и скорости его нарастания

Первое испытание необходимо начать с массы, соответствующей двум НКПР (если он известен) или с 500 мг. Поместить навеску исследуемого вещества в форкамеру. Набрать давление в компрессоре до двух атмосфер (для этого отжать красную кнопку вверх и ждать показания на манометре 2–3 атмосферы, после нажать красную кнопку обратно). Выставить в ячейках «Нить накала» начальное значение 0, конечное значение 20, «Электромагнитный клапан» начальное время 20, конечное 20.3, «Запись показаний датчика»

начальное время 19, конечное 23. Нажать кнопку «старт». Визуально наблюдать в смотровом отверстии реакционного сосуда за воспламенением. На ПЭВМ дублируется процесс эксперимента.

Для просмотра результатов необходимо нажать кнопку «Результаты последних измерений». На экране появится график кривой с показаниями максимального давления, и скорости его нарастания, далее нажать кнопку «назад» для возврата на исходную страницу. Наблюдайте по графикам за изменениями кривой, если максимальное давление кривой стало снижаться, то испытания прекращаются (рисунок 3).

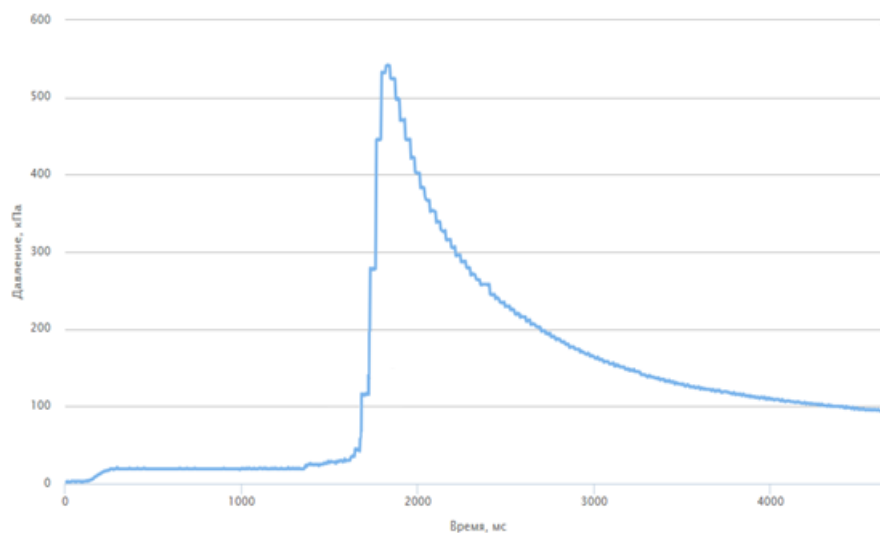


Рисунок 3 – Кривая зависимости нарастания максимального давления взрыва от времени

В данный момент на установке есть функция запоминания результатов проведенных испытаний. Результаты испытаний заносим в таблицу 3.

Все расчеты производятся с помощью формул:

$$P_{\text{макс}} = \max\{Y_n\}, \quad (5)$$

$$\Delta P_n = \left| \frac{Y_{n+1} - Y_n}{X_{n+1} - X_n} \right|, \quad (6)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta t}(n) = \max\{\Delta P_n\}, \quad (7)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \sum \Delta P_n, \quad (8)$$

где n – номер испытания,

X – время, с.

Y – давление, кПа.

Таблица 3 – Экспериментальные данные

n	Максимальное давление взрыва, кПа
1	Y_1
2	Y_2
...	...

Серию испытаний проводят до снижения максимального давления на графике.

После окончания испытаний проведите очистку реакционного сосуда.

4.3 Обработка результатов

Далее следует обработать результаты. За величину максимального давления взрыва принимают наибольшее из десяти значений давления взрыва, полученных в серии основных испытаний. Максимальную скорость нарастания давления также определяют по наибольшей из десяти значений скорости нарастания давления.

Таблица 4 – Отчет по работе

Показатели	Справочные данные	Экспериментальные показатели
НКПР, гр/м ³		
ΔP_{\max} , кПа		

Таблица 5 – Справочные данные пылей

Виды пылей	НКПР, гр/м ³	ΔP_{\max} , кПа
Алюминиевая	40	1300
Древесная	12	710
Крахмальная	40–60	400
Мучная	10–40	520
Сажа	60	920
Сахарная	15	565
Сернорудная	14–50	300
Хлопковая	44–90	630

Контрольные вопросы:

1. Дать определение НКПР.
2. Дать определение максимальному давлению.
3. Основные факторы пылевых взрывов?
4. Принцип действия установки по определению основных показателей взрывопожароопасности пылевоздушных смесей.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 143 с.
2. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А.Я. Корольченко. – М.; Изд-во Химия, 1986 – 216с.
3. Монахов, В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. /В.Т. Монахов – М.: Изд. «Химия», 1979. – 424 с.
4. Годжелло, М. Г. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение / М.Г. Годжелло. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1952. – 140 с.