

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ИХ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ

**Ясюкевич А.П., Бирюк В.А., Кислицкий В.В.**

*Цель.* Исследование некоторых видов промышленных пылей растительного и животного происхождения для оценки их потенциальной пожаровзрывоопасности.

*Методы.* Для достижения поставленной цели были использованы современные методы экспериментальных исследований, включающие лазерный анализ размеров частиц, сканирующую электронную микроскопию с системой химического анализа, ИК-Фурье-спектроскопию.

*Результаты.* Выполнен обзор состояния проблемы в области обеспечения пожарной безопасности на предприятиях с пылеобразующими производствами как в нашей стране, так и за рубежом. Приведены результаты экспериментальных исследований гранулометрического состава, формы и размеров частиц, микроструктуры, элементного и качественного состава пылевидных материалов пищевых производств, позволяющие дать предварительную оценку их пожаровзрывоопасности.

*Область применения исследований.* Пожарная безопасность технологических процессов, в которых обращаются, выделяются, хранятся или перерабатываются пылевидные вещества и материалы.

*Ключевые слова:* промышленная пыль, состав, свойства, пожар, взрыв.

(Поступила в редакцию 2 октября 2023 г.)

### **Введение**

Требования нормативных правовых актов системы противопожарного нормирования и стандартизации не могут полностью исключить вероятность возникновения пожаров и взрывов на промышленных предприятиях. Многие высокотехнологичные процессы промышленных производств сопряжены с выделением пылевидных веществ и материалов, а архитектурно-строительные и технологические решения в совокупности могут приводить к созданию повышенной концентрации пыли различного происхождения.

Обзор зарубежной литературы показал, что только в США в 281 случае, связанном с пожарами и взрывами пыли, погибло 119 человек, 718 – получили травмы различной тяжести, в Бенине в результате взрыва муки в 2016 г. одновременно погибло около 100 человек, около 200 получили травмы. Примерно в 30 % случаев взрывы связаны с обращением пыли пищевой промышленности.

Материальный ущерб от взрывов на промышленных предприятиях во всем мире остается по-прежнему довольно значительными и имеет тенденцию к росту. Согласно данным американского страхового общества, потери от взрывов пыли составляют около 75 млн долларов в год [1]. Все этому способствует наращивание объемов и темпов производства, использование новых высокодисперсных веществ, взрывоопасные свойства которых изучены недостаточно.

В Республике Беларусь одной из развитых отраслей промышленности является пищевое производство. Технологический процесс на предприятиях данной отрасли связан с выпуском и (или) обращением пылевидных материалов различного состава и происхождения: мучной, сахарной, молочной, крахмальной, комбикормовой и других пылей.

Одним из наиболее стремительно развивающихся направлений в нашей стране стало производство сухих молочных смесей, представленных 19 группами продуктов, имеющими в ассортименте около 90 видов [2]. Новые виды пищевой продукции могут иметь существенные отличия в структуре, составе и свойствах (включая пожароопасные), информация о которых в литературных источниках представлена только для ограниченного перечня материалов.

Производство сухих молочных смесей сопряжено с риском возникновения чрезвычайных ситуаций. За прошедшее десятилетие в Российской Федерации зафиксировано два случая взрыва и пожара на предприятиях, связанных с производством и хранением сухих молочных продуктов. Так, в 2007 г. на территории ОАО «Вимм-Билль-Данн» на третьем этаже 4-этажного главного производственного корпуса произошел взрыв взвеси сухого молока, после чего следовало возгорание кабелей. В результате произошедшего инцидента пострадал один человек. В 2018 г. в Омске произошел пожар на складе сухого молока, который ликвидировали в течение пяти часов.

### Основная часть

Пыль – диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм. Твердые или жидкие тела в сильно раздробленном и взвешенном, рассеянном состоянии в жидкой или газообразной среде составляют дисперсионную систему. Частицы пыли в этой системе составляют дисперсную фазу, а воздух (либо смесь газов) является дисперсионной средой.

Пыль может находиться во взвешенном состоянии в воздухе (аэрозвесь) и в осевшем состоянии (аэрогель). Взвешенное состояние в «спокойном» воздухе присуще лишь мельчайшим пылевым частицам известной степени дробления или, как говорят, степени дисперсности. Более крупные частицы, с диаметром свыше 1 мкм, оседают, образуя грубодисперсные системы, к которым и относятся все реальные, в том числе промышленные пыли. Все промышленные пыли полидисперсны, т.е. размеры пылинок неодинаковы и могут колебаться в весьма широких пределах. Степень дисперсности (измельчения) некоторых реальных промышленных пылей и порошковой продукции приведена в таблице 1 [3].

**Таблица 1. – Степень дисперсности промышленных пылей**

| Наименование материала        | Средний диаметр частиц, мкм |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Сухое цельное молоко          | от 2 до 20                  |
| Сахарная пудра (свекловичная) | от 40 до 90                 |
| Мука пшеничная (высший сорт)  | от 50 до 200                |
| Мука пшеничная (третий сорт)  | от 50 до 800                |

Как видно из таблицы 1, наибольшей степенью дисперсности обладает сухое цельное молоко, размер частиц которого составляет порядка 2–20 мкм, а наименьшая степень дисперсности наблюдается у пшеничной муки (до 800 мкм).

Пыли подразделяют на органические, неорганические и смешанные. К органической пыли относят растительную (мучную, сахарную, хлопковую, древесную), животную (шерстяную, сухое молоко) и искусственную органическую (пластмассовую) пыль. Неорганическая пыль подразделяется на минеральную (силикатная и кварцевая) и металлическую. Примером смешанной пыли может выступать пыль, которая образуется при шлифовке металла [4].

Пыли характеризуются формой и размером пылевых частиц, степенью измельчения и удельной поверхностью. Формы и размеры частиц пыли определяются природой вещества, способом ее получения, а также переработки. Частицы промышленных пылей имеют различные формы: шарообразные, кубические, дискообразные, цилиндрические и другие.

В зависимости от диаметра частиц ( $d_m$ ) пыли бывают [5]:

- очень крупнодисперсные ( $d_m > 150$  мкм);
- крупнодисперсные ( $40$  мкм  $< d_m < 150$  мкм);
- среднедисперсные ( $10$  мкм  $< d_m < 40$  мкм);
- мелкодисперсные ( $1$  мкм  $< d_m < 10$  мкм);
- очень мелкодисперсные ( $d_m < 1$  мкм).

Важным свойством пылей является взрывопожароопасность, т.к., сорбируя кислород воздуха, пылевые частицы могут легко воспламеняться при наличии источников зажигания.

Взрыв может произойти в случае выполнения следующих условий:

- концентрация пыли в воздухе находится между нижним и верхним концентрационными пределами;
- присутствие источника зажигания в запыленной зоне, способного воспламенить данную среду;
- приток воздуха, достаточный для обеспечения процесса горения.

Способность образовывать с воздухом взрывоопасную смесь является важнейшим отрицательным свойством пыли. Именно это свойство приводит к несчастным случаям на производстве, разрушению и повреждению технологического оборудования, строительных конструкций, материальному ущербу, причинению вреда окружающей среде [2].

Фундаментальные исследования о пожаровзрывоопасных свойствах высокодисперсных веществ и материалов проводились М.Г. Гаджелло, А.Я. Карольченко, А.Н. Баратовым и представлены для ограниченного вида промышленных пылей [3; 5; 7].

В настоящее время из-за роста общемирового спроса на продукты питания идет наращивание объемов и темпов их производства, использование новых высокодисперсных веществ. В качестве примера можно рассмотреть сухие молочные смеси, ассортиментный перечень которых насчитывает около 100 видов, а объемы производства всех предприятий страны составляют миллионы тонн в год [6].

Анализ информационно-справочной литературы [7–9] показал, что из множества существующих видов сухих молочных смесей в источниках содержатся данные только для сухого молока. Это горючий порошок с температурой воспламенения 280 °С, температурой самовоспламенения 460 °С, нижним концентрационным пределом распространения пламени 15 г/м<sup>3</sup>. Приведенная информация подтверждает недостаточность имеющихся сведений о взрывоопасных свойствах сухих молочных смесей, а их ассортиментное разнообразие свидетельствует о различиях в их структуре.

В нашей стране отсутствуют лабораторные установки и приборы для определения взрывоопасных свойств пыли, однако исследование характера распределения пылевидных частиц, их формы, показателей дисперсности, изучение элементного и вещественного состава позволяют сделать предварительные выводы о потенциальной пожаровзрывоопасности исследуемых веществ.

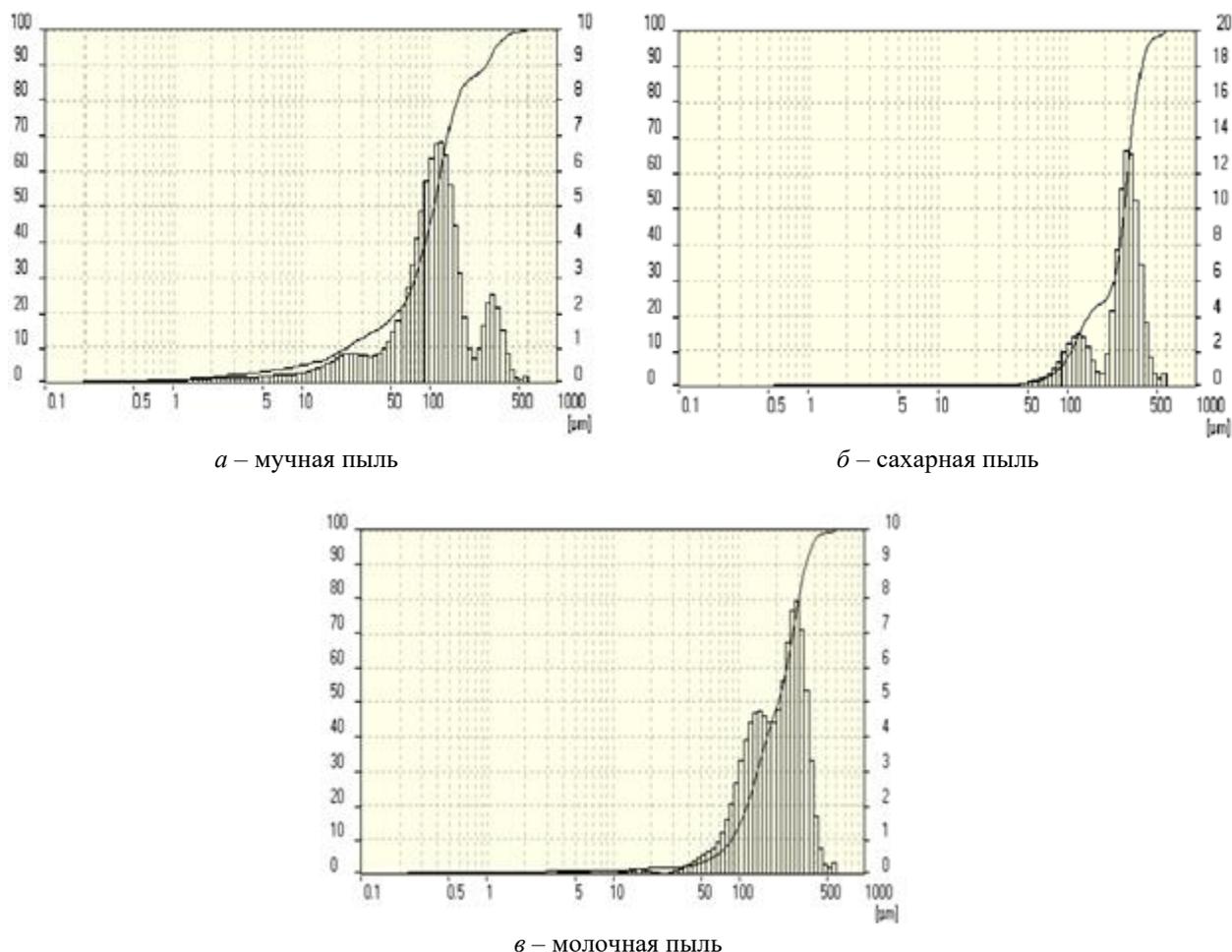
Для исследований нами был проведен отбор проб промышленных пылей исходя из трех основных критериев: производство должно быть многотоннажным (массовым); пыли должны нести потенциальную взрывопожароопасность (статистика взрывов и (или) пожаров); материалы и технологии должны представлять научный интерес (недостаточность данных или их малоизученность).

В качестве объектов исследований были выбраны следующие пробы: сахарная пыль, образующаяся на участке упаковки (фасовки) сахарно-рафинадного производства, мучная пыль одного из белорусских хлебокомбинатов и сухое молоко.

Пробы для проведения исследований отбирались в соответствии с методикой отбора проб пищевых продуктов и продовольственного сырья для определения показателей безопасности по СТБ 1036-97.

Гранулометрический состав пыли существенно влияет на ее взрывоопасные свойства. С уменьшением до определенных пределов размеров частиц пыли взрывоопасность пылевого облака возрастает [10], поэтому было проведено измерение размеров частиц с помощью лазерного анализатора размеров частиц Analizette 22 MicroTec (Fritsch GmbH, Германия). Прибор позволяет определить распределение размеров частиц твердых веществ в суспензиях и порошках, определяет гранулометрический состав с анализом формы частиц. Диапазон измерений 0,1–600 мкм.

Кривые распределения гранулометрического состава исследуемых образцов представлены на рисунке 1.



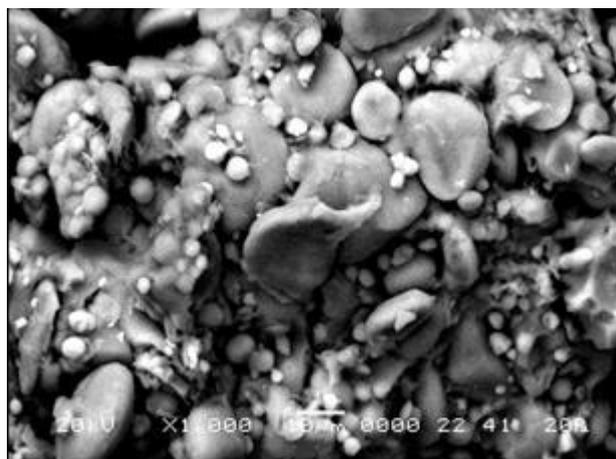
**Рисунок 1. – Кривые распределения гранулометрического состава порошков**

Анализ полученных данных показал, что преобладающий размер частиц сахарной пыли находится в диапазоне от 300 до 400 мкм, молочной пыли – в интервалах от 200 до 300 мкм, а мучной пыли – в пределах от 100 до 200 мкм, что свидетельствует о ее наименьшей дисперсности.

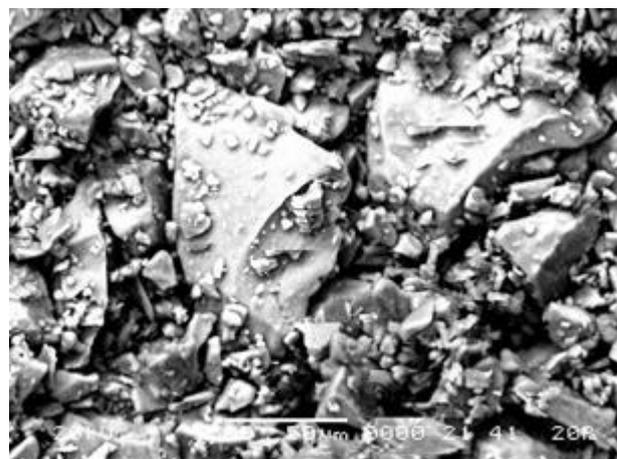
Помимо размера частиц порошков важное значение имеет форма и их взаимное распределение в объеме. Так, частицы сферической формы в зависимости от вида их упаковки могут приводить образованию пустот (каналов) в объеме до 50 %, в то время как в наиболее плотной гексагональной упаковке монодисперсных сферических частиц – около 25 %. Сами частицы могут иметь сферическую, призматическую, пластинчатую, чешуйчатую или игольчатую форму. Часто бывает, что пыли имеют настолько сложную форму частиц, что ее невозможно описать любой простой классификацией.

Сканирующая электронная микроскопия проводилась с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония). С помощью данного оборудования изучена микроструктура и химический состав образцов. Изображения с реальной поверхности исследуемых промышленных пылей представлены на рисунке 2 и показывают преобладание частиц сферической формы для образцов молочной пыли, дискообразной формы для мучной пыли, неправильной формы для сахарной пыли. Частицы сахарной пыли имеют остроугольную неизометрическую форму, что обусловлено особенностями процесса кристаллизации сахара. Для всех видов пылей характерно заполнение пустот тонкодисперсными частицами или их

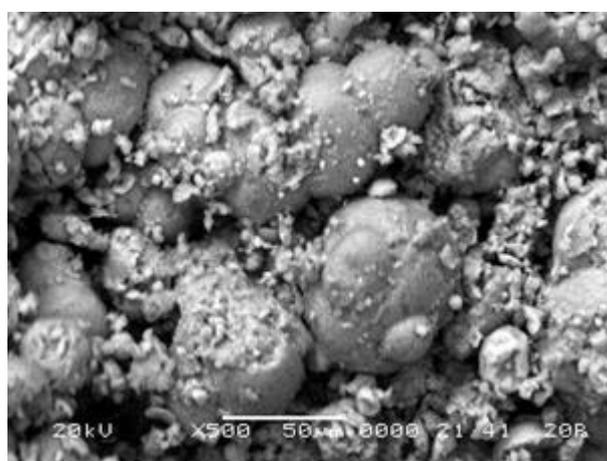
агрегатами размером от 5 до 20 мкм. Сопоставление шкалы увеличения на микрофотографиях подтверждает результаты определения размера частиц с помощью лазерного анализатора.



а – мучная пыль



б – сахарная пыль



в – молочная пыль

**Рисунок 2. – Микрофотографии опытных образцов пылей**

Высокая интенсивность взрыва тонких фракций пыли связана с аэродинамической устойчивостью пылевого облака, с большей поверхностью пыли, приходящейся на единицу ее массы, и высокой скоростью прогрева частиц. Все это способствует ускоренному выходу летучих, образующих взрывоопасную концентрацию смеси горючих компонентов с воздухом. Крупные частицы, содержащиеся в пыли, тормозят распространение пламени в пылевоздушном облаке за счет поглощения ими части тепла, выделяющегося при сгорании горючих летучих компонентов. Мелкие частицы пыли легче переходят во взвешенное состояние, дольше остаются в этом состоянии и требуют меньшей энергии для зажигания из-за снижения температуры самовоспламенения, которая при уменьшении среднего размера частиц некоторых органосодержащих веществ с 50 до 3 мкм снижается по линейному закону [7].

Для определения элементного состава нами был применен метод сканирующей электронной микроскопии с использованием микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония). С помощью данного оборудования можно проводить анализ элементного состава от бора (В) до урана (U). Диапазон концентраций 0,1–100 % [2]. Результаты определений представлены на рисунке 3.

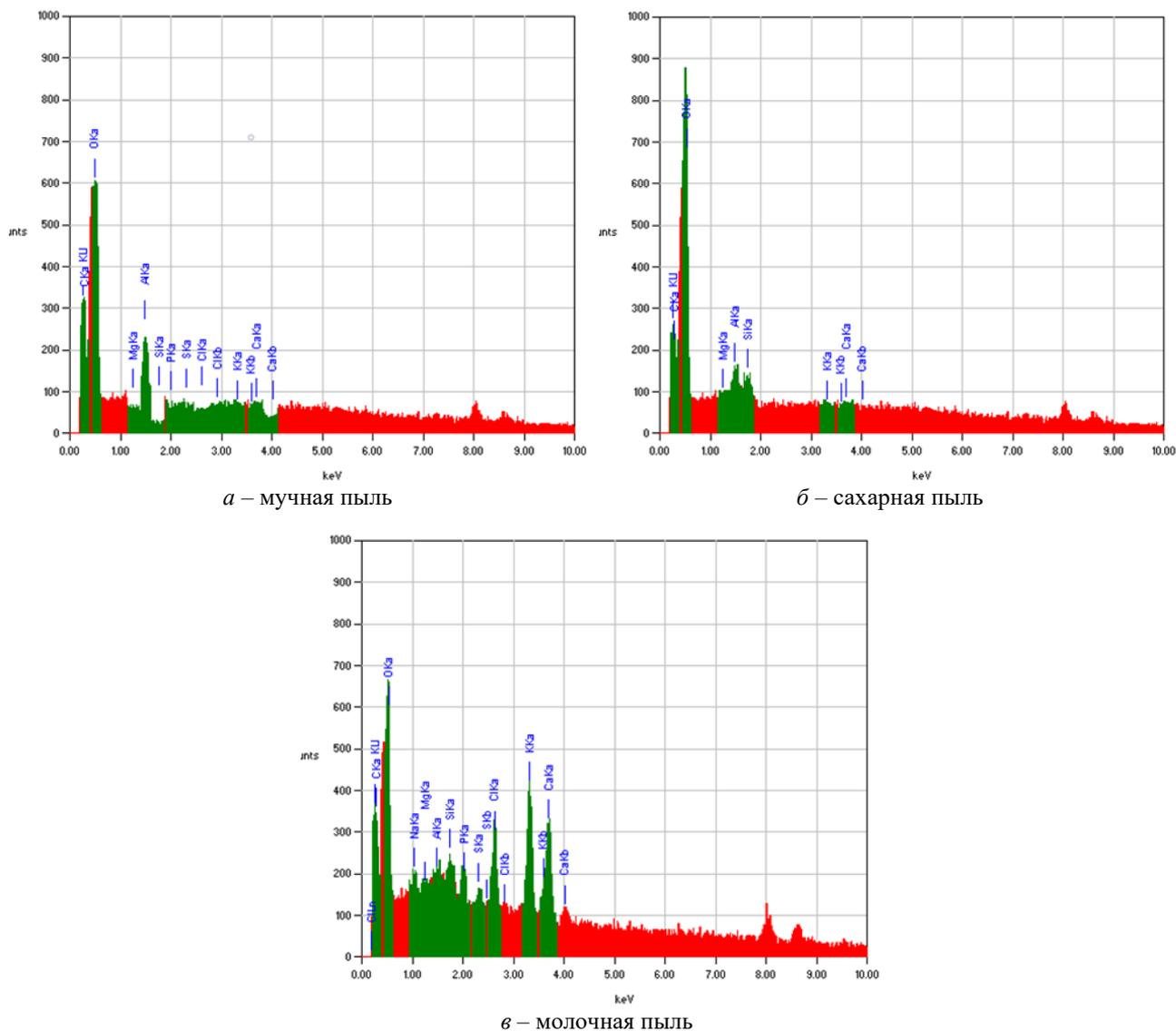


Рисунок 3. – Элементный состав опытных образцов пылей

Массовое содержание химических элементов в исследуемых пробах пыли приведено в таблице 2.

Таблица 2. – Элементный состав исследуемых образцов пыли [2]

| Проба пыли    | Наименование элементов и их массовое содержание, масс. % |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | C  | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | Cl   | K    | Ca   |
| Мучная пыль   | 33,28  | 60,19 | –    | 0,47 | 2,38 | 0,33 | 0,76 | 0,77 | 0,51 | 0,87 | 0,44 |
| Сахарная пыль | 28,55  | 68,74 | –    | 0,13 | 1,28 | 0,63 | –    | –    | –    | 0,31 | 0,35 |
| Молочная пыль | 31,91  | 47,73 | 1,67 | 0,39 | 0,27 | 0,66 | 1,80 | 0,52 | 3,27 | 6,46 | 5,32 |

Дополнительно нами были проведены исследования видовой принадлежности ингредиентов, входящих в состав сухих молочных продуктов. Некоторые поставщики, используя высокий мировой спрос на сухие молочные продукты, добавляют в молоко такие примеси, как крахмал, меламина, цитрат, сахарозу, мочевины, воду, растительные жиры и другие компоненты, получают таким образом более высокую прибыль, но существенно изменяют состав. Метод инфракрасной спектроскопии, где используются волны ближнего и среднего инфракрасного диапазона, может быть успешно применен для исследования молочных продуктов, фальсифицированных различным псевдобелками, загустителями, жирами неизвестного происхождения и меламинами, который является насыщенным азотом

веществом. Используемые добавки могут не только наносить вред здоровью человека, но и оказывать существенное влияние на пожарную нагрузку в составе гибридных взрывоопасных смесей.

В последние годы все большее распространение в исследовании качества и подлинности сырья находит метод ИК-Фурье-спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Метод имеет ряд преимуществ по сравнению с техникой измерения на пропускание. Для исследования достаточно 10 г вещества в жидкой или твердой фазе, время получения одного спектра – до 1,5 с, имеется возможность снижения уровня шумов в  $n$  раз при  $n$  числе сканирований [11].

Метод ИК-спектроскопии основан на поглощении электромагнитного излучения ИК-диапазона молекулами изучаемого вещества, при котором происходит возбуждение колебательных и вращательных состояний. Вся ИК-область условно делится на ближнюю в диапазоне волновых чисел от 12 500 до 4000  $\text{см}^{-1}$ , в которой наблюдаются электронные и колебательные переходы; основную или среднюю от 4000 до 400  $\text{см}^{-1}$ , связанную в основном с колебаниями молекул; и дальнюю от 400 до 50  $\text{см}^{-1}$ , в которой наблюдаются вращательные переходы, колебания в тяжелых молекулах, в ионных и молекулярных кристаллах, некоторые электронные переходы в твердых телах, крутильные и скелетно-деформационные колебания в сложных молекулах, например в биополимерах. В настоящее время наибольшее развитие получила спектроскопия в средней ИК-области, в которой работает большинство серийных приборов. В средней области инфракрасного спектра диапазон от 1300 до 625  $\text{см}^{-1}$  является индивидуальной характеристикой соединения, так называемой областью отпечатков пальцев. Совпадение всех полос неизвестного (исследуемого) вещества со спектром заведомо известного эталона – доказательство их идентичности. Но в результате сильного взаимодействия происходит интенсивное колебание молекул, поэтому отнесение полос поглощения к отдельным связям трудно идентифицировать. Поэтому для наших исследований этот диапазон не подходит. Спектроскопия «ближнего ИК-диапазона» (от 12 500 до 4000  $\text{см}^{-1}$ ) позволяет получить спектр обертонов и комбинационных частот, дающих необходимую информацию для анализа исследуемого продукта. В этой области лежат основные полосы и линии поглощения таких компонентов молочных продуктов, как молочные жирные кислоты, белки молока, серосодержащие соединения, эфиры, кетоны, альдегиды, лактоноиды и др. В этот же диапазон попадают полосы поглощения, отвечающие колебаниям групп C–C, C–O, C–N и др., а также деформационные колебания. Поэтому для наших исследований выбран этот диапазон [12].

Идентифицируют значения характеристических частот ИК-спектра, соответствующих химическому составу образца, и определяют подлинность пищевого сырья по табличным спектральным данным для эталонных образцов.

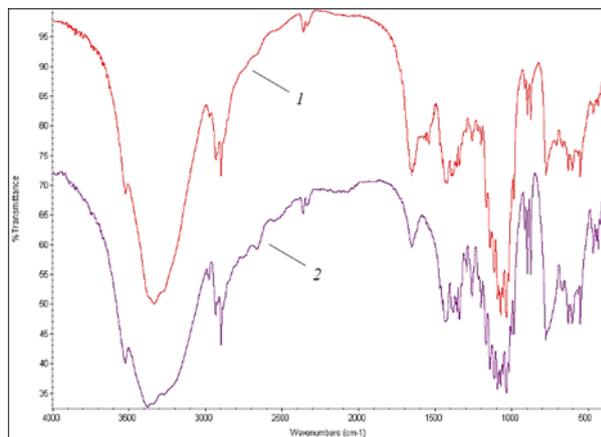
Сопоставляя ИК-спектр неизвестного (исследуемого) образца продукта со спектрами известных, можно идентифицировать исследуемый, определить основной состав пищевых продуктов, обнаружить примеси, провести структурно-групповой анализ [13].

Для проведения спектроскопического исследования нами использовался ИК-Фурье-спектрометр NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, США). Прибор оснащен алмазной кюветой и приставкой многократного нарушенного полного внутреннего отражения для анализа твердых и жидких проб. Позволяет получать качественную и количественную информацию о строении и составе неорганических и органических веществ. Спектральный диапазон: от 4000 до 200  $\text{см}^{-1}$ . Инфракрасные спектры поглощения органических веществ позволяют судить о наличии в молекуле вещества тех или иных функциональных групп [2].

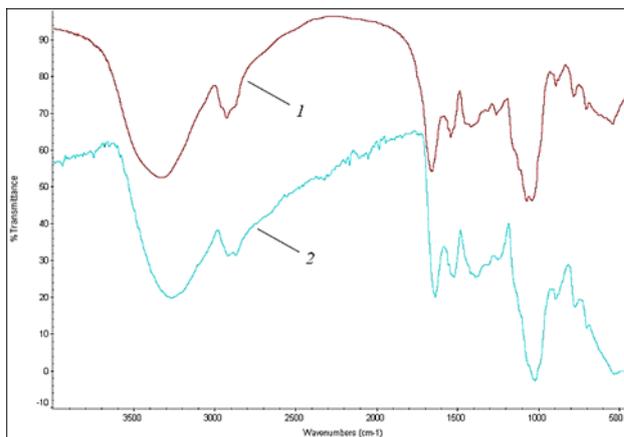
Исследование проводилось для образцов сыворотки молочной (рис. 4а), молока сухого обезжиренного (рис. 4б) и концентрата сывороточного жирового (рис. 4в).

Инфракрасная спектроскопия с уменьшенной суммарной отражательной способностью в сочетании с хемометрией распознавания образов позволила различить и идентифицировать коммерческие ингредиенты молочных продуктов (сырой белок, казеин, жир, лак-

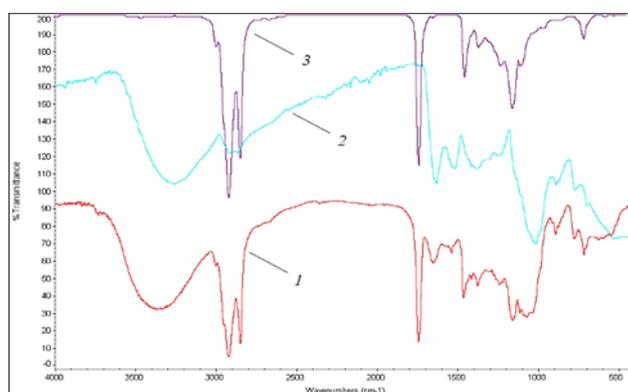
тоза). Обнаружены также три вида широко используемых вспомогательных веществ: мальтодекстрин, сахароза и лактоза, которые имеют специфические «отпечатки пальцев», меняющиеся по мере изменения их количества.



а – молочная сыворотка



б – сухое обезжиренное молоко



в – сывороточный жировой концентрат

1 – молочный белок; 2 – молочный сахар; 3 – растительный жир

Рисунок 4. – ИК-Фурье спектры молочных порошков

Основные полосы поглощения с центром в  $1150$  и  $1580\text{ см}^{-1}$  отвечают за разделение и связаны с различиями в колебаниях амида I и амида II белков соответственно. Спектральный диапазон полос поглощения в интервале от  $2900$  до  $2760\text{ см}^{-1}$  характерен для сывороточного белка, а в области от  $3600$  до  $3200\text{ см}^{-1}$  обнаружено присутствие полос поглощения, характерных для меланина.

Полученные спектральные характеристики (интенсивность полос поглощения и площадь под спектральной кривой поглощения) имеют схожий характер распределения. Вместе с тем их сравнительный анализ позволил обнаружить некоторые отличительные особенности. Так, если в ИК-спектрах сухого молока и молочной сыворотки имелись отчетливые «отпечатки пальцев» органических функциональных групп питательных компонентов (жира, белка, казеина и лактозы), то в образцах сывороточного жирового концентрата обнаружены характеристические линии триглицеридов насыщенных жирных кислот в диапазоне от  $968$  до  $966\text{ см}^{-1}$ , позволяющие судить о наличии пальмового масла. Наличие последнего может оказать существенное влияние на способность образовывать с воздухом взрывоопасную смесь, а также влиять на интенсивность процесса горения пылевидных материалов [2].

Для определения характеристик воспламеняемости и горючести, присущих конкретному типу пыли, обращающемуся на производстве, необходимо провести лабораторные испытания пыли. Специалисты в области пожаровзрывобезопасности, чтобы определить параметры пожарной опасности горючей пыли, измеряют и рассчитывают следующие

ключевые показатели: НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени по взрыву (показывает минимальную концентрацию пылевоздушной смеси для горения); ВКПР – верхний концентрационный предел распространения пламени по взрыву (чем шире диапазон НКПР и ВКПР, тем взрывоопаснее пылевоздушная смесь);  $P_{max}$  – максимальное давление при взрыве;  $(dP/dt)_{max}$  – максимальная скорость нарастания давления взрыва;  $K_{st}$  – индекс тяжести взрыва при горении (индекс взрывоопасности). Чтобы определить два последних вышеуказанных показателя, необходимо провести так называемый контролируемый взрыв.

Данные характеристики используются при анализе риска образования взрывоопасной пылевой среды и являются основой для подбора технических решений по взрывозащите производства. Вместе с тем в Республике Беларусь на сегодня ни одна лаборатория не аккредитована на проведение подобных испытаний.

### Заключение

В данной работе проведено исследование состава некоторых пылевидных материалов пищевых производств. В ходе выполнения эксперимента был применен ряд современных методов исследований. С помощью лазерного анализатора размеров частиц были построены кривые распределения гранулометрического состава исследуемых образцов и установлено, что преобладающий размер частиц сахарной пыли находится в диапазоне от 300 до 400 мкм, молочной пыли – в интервалах от 200 до 300 мкм, а мучной пыли – в пределах от 100 до 200 мкм, что свидетельствует о ее наименьшей дисперсности.

Метод сканирующей электронной микроскопии позволил получить изображения с реальной поверхности исследуемых пылей и доказал преобладание частиц сферической формы для образцов молочной пыли, дискообразной формы для мучной пыли, неправильной формы для сахарной пыли. Для двух видов пылей характерно заполнение пустот тонкодисперсными частицами или их агрегатами размером от 5 до 20 мкм, а в структуре молочной пыли отмечается образование пустот за счет не менее плотной упаковки сферических частиц.

Анализ исследования элементного и вещественного состава порошков молочных смесей показал отличие спектров поглощения опытных образцов. Установлено, что в образцах сухого молока и молочной сыворотки удалось идентифицировать спектры поглощения, характерные для органических функциональных групп молока, а в образцах сывороточного жирового концентрата обнаружены полосы поглощения, позволяющие судить о наличии пальмового масла. Наличие последнего может оказать существенное влияние на способность образовывать с воздухом взрывоопасную смесь, а также влиять на интенсивность процесса горения пылевидных материалов [2].

Становится актуальным вопрос о продолжении исследований в части анализа химического состава и взаимосвязи полученных данных с результатами определения концентрационных пределов взрываемости. Проведенные исследования позволят уточнить справочные данные как для традиционных видов порошков, так и для новых видов промышленных пылей (сухие молочные продукты и смеси), а также разработать (при необходимости) дополнительные пожарно-профилактические мероприятия для предприятий, занимающихся их производством.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарь, В.А. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение / В.А. Бондарь, В.А. Любартович // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. – Т. 4, № 2(14). – С. 286–289. – DOI: 10.17816/2074-0530-68478. – EDN: PVDJTH.
2. Ясюкевич, А.П. Исследование химического и вещественного состава взрывоопасных промышленных пылей / А.П. Ясюкевич, В.А. Бирюк // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 7–8 апреля 2021 г.: в 2 т. – Минск: УГЗ, 2021. – Т. 1, Ч. 1. – С. 312–316.

3. Годжелло, М.Г. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение / М.Г. Годжелло. – М.: Изд-во М-ва коммун. хозяйства РСФСР, 1952. – 143 с.
4. Каузов, П.А. Методы определения физико-химических свойств пылей / П.А. Каузов, А.Д. Мальгин, Г.М. Скрябин. – Л.: Химия, 1982. – 256 с.
5. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А.Я. Корольченко. – М.: Химия, 1986. – 212 с.
6. Ясюкевич, А.П. К вопросу об определении взрывоопасности высокодисперсных твердых материалов / А.П. Ясюкевич, В.А. Бирюк // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей и адъюнктов (аспирантов, соискателей), Минск, 8–9 апреля 2020 г.: в 2 т. – Минск: УГЗ, 2020. – Т. 1. – С. 177–178.
7. Баратов, А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное издание: в 2 кн. / А.Н. Баратов [и др.]. – М.: Химия, 1990. – Кн. 2. – 384 с.
8. Земский, Г.Т. Физико-химические и огнеопасные свойства органических химических соединений: справочник: в 2 кн. / Г.Т. Земский. – Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 2 кн.
9. Кипер, Р.А. Физико-химические свойства веществ: справочник по химии / Р.А. Кипер. – Хабаровск, 2013. – 1014 с.
10. Даржания, Б.А. Теоретические предпосылки обеспечения пожаро- и взрывобезопасности производства сухих продуктов с повышенным содержанием лактозы / Б.А. Даржания // Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона: материалы VI (63-й) ежегодной научно-практической конференции «Университетская наука – региону» Северо-Кавказского федерального университета (2–27 апреля 2018 г.). – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. – С. 372–374. – EDN: USLQDR.
11. Власова, Ю.Н. Физико-химические методы анализа органических веществ: учеб.-метод. пособие / Ю.Н. Власова [и др.]. – М.: Директ-Медиа, 2019. – Ч. 1. Оптические методы анализа. – 87 с.
12. Вытовтов, А.А. Применение инфракрасной Фурье-спектроскопии для определения подлинности и качества молочных продуктов / А.А. Вытовтов, М.Н. Мешалкина // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – № 6-1 (138). – С. 226–232. – EDN: OZAPPF.
13. Белл, Р. Введение в Фурье-спектроскопию: пер. с англ. / Р. Белл. – М.: Мир, 1975. – 380 с.

**Исследование пылевидных материалов пищевых производств  
с целью оценки их пожаровзрывоопасности**

**Study of the dusty materials in food production to assess their fire and explosion hazard**

***Ясюкевич Алексей Петрович***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», центр  
безопасности жизнедеятельности,  
заместитель начальника центра

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: a.yasukevich@yandex.by

***Aleksey P. Yasyukevich***

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Life Safety Education Center,  
Deputy Head of the Center

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: a.yasukevich@yandex.by

ORCID: 0000-0001-8195-9181

***Бирюк Виктор Алексеевич***

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
промышленной безопасности,  
начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: vikbiruk72@gmail.com

SPIN-код: 7159-7920

***Viktor A. Biryuk***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Industrial Safety,  
Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: vikbiruk72@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3110-9557

***Кислицкий Владислав Викторович***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
промышленной безопасности, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: kkisvladd@gmail.com

***Vladislav V. Kislitskiy***

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Industrial Safety,  
Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: kkisvladd@gmail.com

## STUDY OF THE DUSTY MATERIALS IN FOOD PRODUCTION TO ASSESS THEIR FIRE AND EXPLOSION HAZARD

Yasiukevich A.P., Biruk V.A., Kislitsky V.V.

*Purpose.* Investigation of some types of industrial dusts of plant and animal origin to assess their potential fire and explosion hazard.

*Methods.* To achieve this goal, modern experimental research methods were used, including laser particle size analysis, scanning electron microscopy with a chemical analysis system, and Fourier infrared spectroscopy.

*Findings.* The review of the state of the problem in the field of fire safety at enterprises with dust-forming production both in our country and abroad is carried out. The results of experimental studies of the granulometric composition, shape and size of particles, microstructure, elemental and qualitative composition of pulverized materials of food production are carried out, allowing to give a preliminary assessment of their fire and explosion hazard.

*Application field of research.* Fire safety of technological processes in which dust-like substances and materials are handled, separated, stored or processed.

*Keywords:* industrial dust, composition, properties, fire, explosion.

(The date of submitting: October 2, 2023)

### REFERENCES

1. Bondar' V.A., Lyubartovich V.A. Vzryvy promyshlennykh pyley i ikh preduprezhdenie [Explosions of industrial dust and their prevention]. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, 2012. Vol. 4, No. 2(14). Pp. 286–289. (rus). DOI: 10.17816/2074-0530-68478. EDN: PVDJTH.
2. Yasyukevich A.P., Biryuk V.A. Issledovanie khimicheskogo i veshchestvennogo sostava vzryvoopasnykh promyshlennykh pyley [Study of chemical and material composition of explosive industrial dusts]. *Proc. XV Intern. scientific-practical. conf. of young scientists «Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy»*, Minsk, April 7–8, 2021: in 2 vol. Minsk: University of Civil Protection, 2021. Vol. 1, part 1. Pp. 312–316. (rus)
3. Godzhello M.G. *Vzryvy promyshlennykh pyley i ikh preduprezhdenie* [Explosions of industrial dusts and their prevention]. Moscow: Ministry of Communal Economy of the RSFSR, 1952. 143 p. (rus)
4. Kauzov P.A., Mal'gin A.D., Skryabin G.M. *Metody opredeleniya fiziko-khimicheskikh svoystv pyley* [Methods of determination of physical and chemical properties of dust]. Leningrad: Khimiya, 1982. 256 p. (rus)
5. Korol'chenko A.Ya. *Pozharovzryvoopasnost' promyshlennoy pyli* [Fire and explosion hazard of industrial dust]. Moscow: Khimiya, 1986. 212 p. (rus)
6. Yasyukevich A.P., Biryuk V.A. K voprosu ob opredelenii vzryvoopasnosti vysokodispersnykh tverdykh materialov [On the question of determining the explosion hazard of highly dispersed solid materials] *Proc. XV Intern. scientific-practical. conf. of cadets, listeners and adjuncts «Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy»*, Minsk, April 8–9, 2020: in 2 vol. Minsk: University of Civil Protection, 2020. Vol. 1. Pp. 177–178. (rus)
7. Baratov A.N., Korol'chenko A.Ya., Kravchuk G.N. et al. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing]: reference edition: in 2 books. Moscow: Khimiya, 1990. Book 2. 384 p. (rus)
8. Zemskiy G.T. *Fiziko-khimicheskie i ogneopasnye svoystva organicheskikh khimicheskikh soedineniy* [Physico-chemical and fire hazardous properties of organic chemical compounds]: reference book: in 2 books. Moscow: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2009. 2 books. (rus)
9. Kiper R.A. *Fiziko-khimicheskie svoystva veshchestv* [Physico-chemical properties of substances]: reference book on chemistry. Khabarovsk, 2013. 1014 p. (rus)
10. Darzhaniya B.A. Teoreticheskie predposylki obespecheniya pozharo- i vzryvobezopasnosti proizvodstva sukhikh produktov s povyshennym soderzhaniam laktozy [Theoretical prerequisites for ensuring the fire and explosion safety of the production of dry products with a high content of lactose]. In book: *Bioraznoobrazie, bioresursy, voprosy biotekhnologii i zdorov'e naseleniya Severo-Kavkazskogo regiona* [Biodiversity, biological resources, biotechnology and health of the population of the North Cau-

- casus region]: *proc. VI (63rd) Annual. scientific-practical. conf. «Universitetskaya nauka – regionu», April 2–27*. Stavropol: North Caucasus Federal University, 2018. Pp. 372–374. EDN: USLQDR.
11. Vlasova Yu.N., Ivanova E.V., Boykova O.I. et al. *Fiziko-khimicheskie metody analiza organicheskikh veshchestv* [Physico-chemical methods of analyzing organic substances]: training manual. Moscow: Direkt-Media, 2019. Part 1. Opticheskie metody analiza [Optical methods of analysis]. 87 p. (rus)
  12. Vytovtov A.A., Meshalkina M.N. *Primenenie infrakrasnoy fur'e-spektroskopii dlya opredeleniya podlinnosti i kachestva molochnykh produktov* [The use of infrared Fourier spectroscopy to determine the authenticity and quality of dairy products]. *St. Petersburg State Polytechnical University journal. Computer science, telecommunications and control systems*, 2011. No. 6-1 (138). Pp. 226–232. (rus). EDN: OZAPPF.
  13. Bell R.J. *Vvedenie v Fur'e-spektroskopiю* [Introductory Fourier Transform Spectroscopy]: translation from English. Moscow: Mir, 1975. 380 p. (rus)