

БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА / CONSTRUCTION SITE SAFETY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.8>

ОБ ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ САМОВОЗГОРАНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ ПРИ ЕГО СИЛОСНОМ ХРАНЕНИИ В ЭЛЕВАТОРЕ

Научная статья

Седов Д.В.^{1*}, Беляк А.Л.²

¹ORCID : 0009-0001-8234-3810;

²ORCID : 0000-0001-9142-7381;

¹ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Российская Федерация

² Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sedov_irk[at]list.ru)

Аннотация

В настоящее время Россия является мировым лидером по экспорту пшеничного зерна. Значительные объемы хранения данного сырья обуславливают высокий уровень пожарной опасности зерноперерабатывающих предприятий. Одной из основных причин пожаров на данных объектах является самовозгорание зерна. На примере предприятия ООО «Иркутский элеватор», где после пожаров 2013 и 2022 гг. проведены восстановительные и капитальные работы была оценена возможность самовозгорания пшеничного зерна, хранящегося в вертикальных цилиндрических силосах. Для оценки применен усовершенствованный метод калориметрирования, разработанный профессором Я.С. Киселевым. Установлено, что на предприятии опасность самовозгорания зерна отсутствует даже при максимальной температуре окружающей среды. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения реализуемых противопожарных мероприятий.

Ключевые слова: хранение зерна, скопление дисперсных материалов, элеватор, силос, самовозгорание, противопожарные мероприятия.

ON ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF SPONTANEOUS COMBUSTION OF WHEAT GRAIN DURING SILAGE STORAGE IN AN ELEVATOR

Research article

Sedov D.V.^{1*}, Belyak A.L.²

¹ORCID : 0009-0001-8234-3810;

²ORCID : 0000-0001-9142-7381;

¹ Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

² East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, Russian Federation

* Corresponding author (sedov_irk[at]list.ru)

Abstract

Russia is currently the world leader in wheat grain exports. Significant storage volumes of this raw material cause a high level of fire hazard at grain processing plants. One of the main causes of fires at these facilities is spontaneous combustion of grain. The possibility of spontaneous combustion of wheat grain stored in vertical cylindrical silos was evaluated on the example of LLC "Irkutsk Elevator", where restoration and capital works were carried out after fires in 2013 and 2022. An improved calorimetry method developed by Professor Y.S. Kiselev was used for the assessment. It was found that there is no danger of spontaneous combustion of grain at the enterprise, even at maximum ambient temperature. The obtained results can be used to clarify the implemented fire prevention measures.

Keywords: grain storage, accumulation of dispersed materials, elevator, silage, spontaneous combustion, fire prevention measures.

Введение

Самовозгорание зерна при его хранении является достаточно распространенной причиной пожаров на зерноперерабатывающих предприятиях. Как показывает анализ статистических данных [1], основными причинами пожаров на данных объектах являются неисправности оборудования (34%), нарушение при проведении огневых работ (26%), самовозгорание сырья и продуктов его переработки (22%), нарушение правил эксплуатации сушильных установок (12%), нарушение правил пожарной безопасности (6%).

Наиболее распространенными нарушениями правил хранения зерна, приводящими к его самонагреванию, являются:

- а) хранение с повышенной влажностью или сорностью;
- б) отсутствие зачистки емкостей перед загрузкой;
- в) превышение сроков хранения;
- г) отсутствие или неисправность систем контроля температуры;
- д) разгрузка емкостей без выполнения мероприятий по обеспечению безопасности [2].

Целью исследования является оценка возможности самовозгорания пшеничного зерна, хранящегося в вертикальных цилиндрических силосах предприятия ООО «Иркутский элеватор». На данном предприятии в 2013 и

2022 гг. возникали пожары при хранении зерна, после чего были проведены восстановительные и капитальные работы. Обновленный элеватор для хранения зерна предусмотрен в виде батареи из вертикальных цилиндрических силосов небольшого диаметра. В связи с этим настоящее исследование является весьма актуальным.

Предприятие ООО «Иркутский элеватор» обеспечивает производительность по муке 150 т в сутки. Хранение пшеничного зерна осуществляется в элеваторе (рис. 1), который представляет собой сооружение размерами в плане 24x60 м² и высотой 24 м, состоящее из 36 вертикальных цилиндрических силосов. Диаметр каждого силоса составляет 3 м, высота – 18 м.



Рисунок 1 - Элеватор для хранения пшеничного зерна предприятия ООО «Иркутский элеватор»
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.8.1>

Пшеничное зерно – дисперсный горючий материал, склонный к самонагреванию и самовозгоранию. Скорость химических превращений, приводящих к самонагреванию, зависит от вегетативного периода созревания зерна, химического и компонентного состава, а также количества зерна, влажности и температуры окружающей среды [5]. Самонагревание зерна в силосах также возникает вследствие наличия в его массе большого количества семян сорняков с высокой влажностью [6]. Во время самонагревания температура зерна может повыситься на 60-70 °С, критический порог влажности также может варьироваться [7]. Другим фактором, способствующим окислению зерна при его хранении, является жизнедеятельность микроорганизмов [8]. На начальном этапе данный фактор является малозаметным. Активизация микроорганизмов происходит после достижения в скоплении определенной температуры [9]. В этот период внутри скопления достаточно продуктов для их жизнедеятельности, что приводит к выделению дополнительного тепла. При дальнейшем росте температуры (около 55 °С) в скоплении становится недостаточно ферментов, необходимых для микроорганизмов, и процесс самонагревания начинает протекать только за счет экзотермических реакций окисления [10], [11].

Методы и принципы исследования

Склонность дисперсных материалов к самовозгоранию может быть установлена по справочным данным или путем проведения экспериментов по ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения». При известных размерах скопления расчетные и экспериментальные исследования позволяют определить минимальную температуру среды и длительность хранения дисперсных материалов, при которой может произойти их самовозгорание. Разработана отечественная методика расчета условий самовозгорания веществ [12], базирующаяся на теории теплового взрыва Франк-Каменецкого [13]. В работах [14], [15] по данной методике проведены теоретические и экспериментальные исследования для ряда органических веществ. В работах [16], [17] рассмотрены показатели процесса самонагревания органических веществ растительного происхождения с учетом влияния генерации теплоты и теплоотвода. В работе [18] получено аналитическое решение задачи самовозгорания материала, исходя из совместного рассмотрения уравнений адсорбции кислорода и теплопроводности. В работе [19] определяется склонность веществ и их смесей к самовозгоранию путем расчета энергии Гиббса некоторых реакций. В работах [20], [21] проведен анализ различных исследований в области теории теплового взрыва, представлены зависимости, которые были положены в основу расчетных методов определения условий теплового самовозгорания насыпей и отложений материалов. Пожарная опасность объектов хранения растительного сырья в силосах и бункерах исследована в работах [22], [23], [24]. При этом изучались процессы, связанные с жизнедеятельностью микрофлоры. В работе [25] проведено сравнение результатов расчета условий

теплового самовозгорания по различным методическим подходам. Показано, что достаточно удовлетворительные результаты дает усовершенствованный метод калориметрирования, разработанный профессором Я.С. Килесевым [26].

На первом этапе, согласно усовершенствованному методу калориметрирования Я.С. Килесева [26], определяется критическая температура в центре скопления дисперсного материала, при которой начинается процесс его самонагрева:

$$T_{cr} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{E}{R} - \sqrt{\frac{E}{R} \cdot \left(\frac{E}{R} - 4 \cdot T_0 \right)} \right], \quad (1)$$

где E – энергия активации дисперсного материала, Дж·моль⁻¹;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж·моль⁻¹·К⁻¹;

T_0 – температура окружающей среды, К.

На втором этапе определяется параметр охлаждения дисперсного материала:

$$\Pi_0 = \frac{C}{T_{cr} - T_0} \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{cr}}}, \quad (2)$$

где C – предэкспоненциальный множитель адиабатической скорости самонагрева дисперсного материала, К·с⁻¹.

На третьем этапе определяется диаметр скопления дисперсного материала:

$$X = \sqrt{\left(\frac{n \cdot \lambda}{\alpha} \right)^2 + \frac{4 \cdot k \cdot n \cdot \lambda}{C_p \cdot \rho \cdot \Pi_0}} - \frac{n \cdot \lambda}{\alpha}, \quad (3)$$

где k и n – коэффициенты формы скопления дисперсного материала;

λ – коэффициент теплопроводности дисперсного материала, Вт·м⁻¹·К⁻¹;

ρ – плотность дисперсного материала, кг·м⁻³;

C_p – теплоемкость дисперсного материала, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

α – коэффициент теплоотдачи дисперсного материала, Вт·м⁻²·К⁻¹.

Результаты и обсуждение

Оценка возможности самовозгорания пшеничного зерна на предприятии ООО «Иркутский элеватор» проводилась при температуре окружающей среды, которая соответствует максимальной температуре воздуха для рассматриваемого региона. В соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» максимальная температура воздуха в г. Иркутске равна 36 °С.

Согласно выражению (1) критическая температура в скоплении, при которой начинается самонагревание зерна, составила:

$$T_{cr} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{E}{R} - \sqrt{\frac{E}{R} \cdot \left(\frac{E}{R} - 4 \cdot T_0 \right)} \right] = \\ = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{74,3 \cdot 10^3}{8,314} - \sqrt{\frac{74,3 \cdot 10^3}{8,314} \cdot \left(\frac{74,3 \cdot 10^3}{8,314} - 4 \cdot 309 \right)} \right] = 320,5 \text{ K}, \quad (4)$$

где E – энергия активации пшеничного зерна, равная 74,3·10³ Дж·моль⁻¹ [8];

R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж·моль⁻¹·К⁻¹;

T_0 – температура окружающей среды, равная 309 К (36 °С) согласно СП 131.13330.2020.

По формуле (2) параметр охлаждения составил:

$$\Pi_0 = \frac{C}{T_{cr} - T_0} \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T_{cr}}} = \\ = \frac{3,56 \cdot 10^7}{320,5 - 309} \cdot e^{-\frac{74,3 \cdot 10^3}{8,314 \cdot 320,5}} = 2,41 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}, \quad (5)$$

где C – предэкспоненциальный множитель адиабатической скорости самонагрева пшеничного зерна, равный 3,56·10⁷ К·с⁻¹ [8].

Поскольку пшеничное зерно хранится в силосах, имеющих форму вертикальных цилиндров, то по формуле (3) критический диаметр вертикального цилиндрического скопления зерна составил:

$$X = \sqrt{\left(\frac{n \cdot \lambda}{\alpha} \right)^2 + \frac{4 \cdot k \cdot n \cdot \lambda}{C_p \cdot \rho \cdot \Pi_0}} - \frac{n \cdot \lambda}{\alpha} = \\ = \sqrt{\left(\frac{2,89 \cdot 12}{5} \right)^2 + \frac{4 \cdot 2 \cdot 2,89 \cdot 12}{2600 \cdot 500 \cdot 2,41 \cdot 10^{-6}}} - \frac{2,89 \cdot 12}{5} = 4,8 \text{ м}, \quad (6)$$

где k и n – коэффициенты формы скопления пшеничного зерна, равные для вертикального цилиндра соответственно 2 и 2,89 [26];

λ – коэффициент теплопроводности для пшеничного зерна, равный 12 Вт·м⁻¹·К⁻¹ [4];

ρ – плотность пшеничного зерна, равная 500 кг·м⁻³ [4];

C_p – теплоемкость пшеничного зерна, равная 2600 Дж кг⁻¹·К⁻¹ [4];

α – коэффициент теплоотдачи пшеничного зерна, равный 5 Вт·м⁻²·К⁻¹ [4].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что фактический диаметр вертикальных цилиндрических силосов (3 м) не превышает указанного выше критического значения (4,8 м). Это говорит о том, что на предприятии ООО «Иркутский элеватор» при хранении пшеничного зерна в вертикальных цилиндрических силосах его самовозгорание исключается даже при температуре окружающей среды, равной максимальному значению для климатической зоны г. Иркутска (36 °С). В связи с этим можно сделать вывод о том, что процесс хранения зерна на предприятии ООО «Иркутский элеватор» с точки зрения самовозгорания осуществляется в достаточно безопасных условиях.

Заключение

Таким образом, с помощью известного и достаточно точного научного метода (усовершенствованный метод калориметрирования Я.С. Киселева) были проведены численные исследования для вертикальных цилиндрических силосов, применяемых на предприятии ООО «Иркутский элеватор». В результате проведенных исследований установлено, что на предприятии при хранении пшеничного зерна созданы условия, при которых оно не может самовозгореться даже при максимальной температуре окружающей среды, характерной для климатической зоны г. Иркутска. Практическая значимость полученных результатов состоит в их использовании для уточнения противопожарных мероприятий, предусмотренных на предприятии.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Вишторский Е.М., Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.8.2>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Vishtorsky E.M., Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.8.2>

Список литературы / References

- Семенов Л.И. Взрывобезопасность элеваторов, мукомольных и комбикормовых заводов / Л.И. Семенов — Москва: Агропромиздат, 1991. — 367 с.
- Дубенко М.Н. Самовоспламенение и самовозгорание веществ в сельском хозяйстве / М.Н. Дубенко, М.В. Жолобова // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. — 2018. — №2-2. — с. 297–299.
- Глушенко К.В. Кинетические параметры теплоотдачи при самонагревании органического вещества / К.В. Глушенко // Научный вестник НИИГД Респиратор. — 2018. — №3(55). — с. 58–66.
- Зверев С.В. Физические свойства зерна и продуктов его переработки / С.В. Зверев, Н.С. Зверева — Москва: ДеЛи принт, 2007. — 176 с.
- Кретович В.Л. Микробиологические и биохимические процессы при самонагревании свежееубранного зерна пшеницы / В.Л. Кретович, Я.И. Раутентштейн — Москва: АН СССР, 1991. — 36 с.
- Таубкин С.И. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки / С.И. Таубкин, И.С. Таубкин — М.: Химия, 1996. — 264 с.
- Вогман Л.П. Обзор результатов исследования роли воды в процессах самовозгорания растительного сырья / Л.П. Вогман, Е.Е. Простов // Хлебопродукты. — 2015. — №3. — с. 57-59.
- Рубцов Ю.И. Кинетические закономерности тепловыделения при развитии микроорганизмов на зерне пшеницы и оценка возможности теплового самовоспламенения, инициированного этим процессом / Ю.И. Рубцов, А.И. Казаков, Е.Ю. Рубцова // Химическая физика. — 2003. — № 6 . — с. 79-86.
- Вогман Л.П. Микробиологический импульс при самовозгорании растительного сырья / Л.П. Вогман // Хлебопродукты. — 2014. — №12. — с. 64-65.
- Горшков В.И. Определение времени индукции при очаговом самовозгорании материалов / В.И. Горшков, И.А. Корольченко, А.В. Казаков и др. // Пожарная безопасность. — 2007. — №1. — с. 66-70.
- Баратов А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчун — М.: Химия, 1990. — 496 с.
- Методика определения условий теплового самовозгорания веществ и материалов — Введ. 2004-04-21. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. — 67 с.
- Горшков В.И. Самовозгорание веществ и материалов / В.И. Горшков — Москва: ВНИИПО, 2003. — 446 с.
- Орликова В.П. Изучение очагового самовозгорания органических веществ / В.П. Орликова, В.В. Волынец // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. — 2019. — №2(3). — с. 169-177.
- Федоровский В.В. Экспериментальное исследование условий теплового самовозгорания измельченных семян масличных культур / В.В. Федоровский, Р.Б. Веселивский // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2017. — №2(42). — с. 16-22.
- Греков С.П.. Кинетика гетерогенного окисления слоя угля и его самонагревание / С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Е.А. Головченко // Горноспасательное дело; — Вып. 42. — Донецк: НИИГД Респиратор, 2005. — с. 15-21.
- Черников А.И. Особенности самовозгорания некоторых веществ материалов / А.И. Черников // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. — 2013. — №1-1(2) . — с. 140-142.

18. Греков С.П. Расчет коэффициентов теплоотдачи в слое зернистого вещества / С.П. Греков, И.Г. Старикова, К.В. Глушенко // Научный вестник НИИГД Респиратор. — 2017. — №2(54). — с. 59–68.
19. Филатова Ю.А. Исследование процесса химического самовозгорания как причины пожара / Ю.А. Филатова, Т.А. Мочалова // Пожарная и аварийная безопасность. — 2019. — №1(12). — с. 123–127.
20. Горшков В.И. Исследование процессов самовозгорания. Часть I / В.И. Горшков, И.А. Корольченко // Пожарная безопасность. — 2008. — №1. — с. 68–77.
21. Горшков В.И. Исследование процессов самовозгорания. Часть II / В.И. Горшков, И.А. Корольченко // Пожарная безопасность. — 2008. — №2. — с. 31–40.
22. Вогман Л.П. Пожарная безопасность элеваторов / Л.П. Вогман, В.И. Горшков, А.Г. Дегтярев — М.: Стройиздат, 1993. — 288 с.
23. Соколов Д.Н. Оценка возможности самовозгорания зерна в силосах элеватора / Д.Н. Соколов // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. — 2017. — №7. — с. 284–287.
24. Крестинин А.В. Возникновение очага самосогревания при хранении зерна / А.В. Крестинин, Н.И. Перегудов, Н.Г. Самойленко и др. // Химическая физика. — 2002. — №12. — с. 54–65.
25. Корольченко И.А. Сравнение результатов расчета условий теплового самовозгорания по различным методическим подходам / И.А. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — №1. — с. 8–14.
26. Киселев Я.С.. Компенсационное управление и его использование для прогноза самовозгорания целлюлозных материалов / Я.С. Киселев, А.А. Топорищев // Пожарная профилактика и математическая статистика в пожарной охране; — М. : ВИПТШ, 1984. — с. 50–59.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Semenov L.I. Vzryvobezопасnost' elevatorov, mukomol'nyh i kombikormovyh zavodov [Explosion Safety of Elevators, Flour Mills and Feed Mills] / L.I. Semenov — Moskva: Agropromizdat, 1991. — 367 p. [in Russian]
2. Dubenko M.N. Samovosplamnenie i samovozgoranie veschestv v sel'skom hozjajstve [Spontaneous Combustion and Spontaneous Combustion of Substances in Agriculture] / M.N. Dubenko, M.V. Zholobova // Young Science of the Agricultural Don: Traditions, Experience, Innovations. — 2018. — №2-2. — p. 297–299. [in Russian]
3. Glushenko K.V. Kineticheskie parametry teplotdachi pri samonagrevanii organicheskogo veschestva [Kinetic Parameters of Heat Transfer during Self-heating of Organic Matter] / K.V. Glushenko // Scientific Bulletin of NIIGD Respiator. — 2018. — №3(55). — p. 58–66. [in Russian]
4. Zverev S.V. Fizicheskie svojstva zerna i produktov ego pererabotki [Physical Properties of Grain and Products of Its Processing] / S.V. Zverev, N.S. Zvereva — Moskva: DeLi print, 2007. — 176 p. [in Russian]
5. Kretovich V.L. Mikrobiologicheskie i biohimicheskie protsessy pri samonagrevanii svezheubrannogo zerna pshenitsy [Microbiological and Biochemical Processes during Self-heating of Freshly Harvested Wheat Grain] / V.L. Kretovich, Ja.I. Rautentshtejn — Moskva: AN SSSR, 1991. — 36 p. [in Russian]
6. Taubkin S.I. Pozharo- i vzryvoopasnost' pylevidnyh materialov i tehnologicheskikh protsessov ih pererabotki [Fire and Explosion Hazard of Dusty Materials and Technological Processes of Their Processing] / S.I. Taubkin, I.S. Taubkin — M.: Himija, 1996. — 264 p. [in Russian]
7. Vogman L.P. Obzor rezul'tatov issledovaniya roli vody v protsessah samovozgoraniya rastitel'nogo syr'ja [Review of the Results of Research into the Role of Water in the Processes of Spontaneous Combustion of Plant Materials] / L.P. Vogman, E.E. Prostov // Bakery Products. — 2015. — №3. — p. 57-59. [in Russian]
8. Rubtsov Ju.I. Kineticheskie zakonomernosti teplovydelenija pri razvitii mikroorganizmov na zerne pshenitsy i otsenka vozmozhnosti teplovogo samovosplamnenija, initsiirovannogo etim protsessom [Kinetic Patterns of Heat Release during the Development of Microorganisms on Wheat Grain and Assessment of the Possibility of Thermal Self-ignition Initiated by This Process] / Ju.I. Rubtsov, A.I. Kazakov, E.Ju. Rubtsova // Chemical Physics. — 2003. — № 6. — p. 79-86. [in Russian]
9. Vogman L.P. Mikrobiologicheskij impul's pri samovozgoranii rastitel'nogo syr'ja [Microbiological Impulse during Spontaneous Combustion of Plant Materials] / L.P. Vogman // Bakery Products. — 2014. — №12. — p. 64-65. [in Russian]
10. Gorshkov V.I. Opredelenie vremeni induksii pri ochagovom samovozgoranii materialov [Determination of Induction Time for Focal Spontaneous Combustion of Materials] / V.I. Gorshkov, I.A. Korol'chenko, A.V. Kazakov et al. // Fire Safety. — 2007. — №1. — p. 66-70. [in Russian]
11. Baratov A.N. Pozharovzryvoopasnost' veschestv i materialov i sredstva ih tushenija [Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials and Means of Extinguishing Them] / A.N. Baratov, A.Ja. Korol'chenko, G.N. Kravchun — M.: Himija, 1990. — 496 p. [in Russian]
12. Metodika opredelenija uslovij teplovogo samovozgoraniya veschestv i materialov [Methodology for determining the conditions for thermal spontaneous combustion of substances and materials] — Introduced 2004-04-21. — M.: FGU VNIPO MChS Rossii, 2004. — 67 p. [in Russian]
13. Gorshkov V.I. Samovozgoranie veschestv i materialov [Spontaneous Combustion of Substances and Materials] / V.I. Gorshkov — Moskva: VNIPO, 2003. — 446 p. [in Russian]
14. Orlikova V.P. Izuchenie ochagovogo samovozgoraniya organicheskikh veschestv [Study of Focal Spontaneous Combustion of Organic Substances] / V.P. Orlikova, V.V. Volynets // Fire and Technosphere Safety: Problems and Ways to Improve. — 2019. — №2(3). — p. 169-177. [in Russian]
15. Fedorovskij V.V. Eksperimental'noe issledovanie uslovij teplovogo samovozgoraniya izmel'chennyh semjan maslichnyh kul'tur [Experimental Study of the Conditions for Thermal Spontaneous Combustion of Crushed Oilseeds] / V.V. Fedorovskij, R.B. Veselivskij // Emergency Situations: Prevention and Response. — 2017. — №2(42). — p. 16-22. [in Russian]

16. Grekov S.P. Kinetika geterogenogo okislenija sloja uglja i ego samonagrevanie [Kinetics of Heterogeneous Oxidation of a Coal Layer and Its Self-heating] / S.P. Grekov, I.N. Zinchenko, E.A. Golovchenko // Mine Rescue Business; — Issue 42. — Donetsk: NIIGD Respirator, 2005. — p. 15-21. [in Russian]
17. Chernikov A.I. Osobennosti samovozgoranija nekotoryh veschestv materialov [Features of Spontaneous Combustion of Some Substances and Materials] / A.I. Chernikov // Problems of Ensuring Safety during Emergency Response. — 2013. — №1-1(2) . — p. 140-142. [in Russian]
18. Grekov S.P. Raschet koefitsientov teplotdachi v sloe zernistogo veschestva [Calculation of Heat Transfer Coefficients in a Layer of Granular Substance] / S.P. Grekov, I.G. Starikova, K.V. Glushenko // Scientific Bulletin of NIIGD Respirator. — 2017. — №2(54). — p. 59–68. [in Russian]
19. Filatova Ju.A. Issledovanie protsessa himicheskogo samovozgoranija kak prichiny pozhara [Study of the Process of Chemical Spontaneous Combustion as a Cause of Fire] / Ju.A. Filatova, T.A. Mochalova // Fire and Emergency Safety. — 2019. — №1(12). — p. 123–127 . [in Russian]
20. Gorshkov V.I. Issledovanie protsessov samovozgoranija. Chast' I [Study of Spontaneous Combustion Processes. Part I] / V.I. Gorshkov, I.A. Korol'chenko // Fire Safety. — 2008. — №1. — p. 68–77. [in Russian]
21. Gorshkov V.I. Issledovanie protsessov samovozgoranija. Chast' II [Study of Spontaneous Combustion Processes. Part II] / V.I. Gorshkov, I.A. Korol'chenko // Fire Safety. — 2008. — №2. — p. 31–40. [in Russian]
22. Vogman L.P. Pozharnaja bezopasnost' elevatorov [Fire Safety of Elevators] / L.P. Vogman, V.I. Gorshkov, A.G. Degtjarev — M.: Strojizdat, 1993. — 288 p. [in Russian]
23. Sokolov D.N. Otsenka vozmozhnosti samovozgoranija zerna v silosah elevatora [Assessment of the Possibility of Spontaneous Combustion of Grain in Elevator Silos] / D.N. Sokolov // Innovative Technologies for the Production and Storage of Material Assets for Government Needs. — 2017. — №7. — p. 284–287. [in Russian]
24. Krestinin A.V. Vozniknovenie ochaga samosogrevanija pri hranenii zerna [Occurrence of Self-heating during Grain Storage] / A.V. Krestinin, N.I. Peregudov, N.G. Samojlenko et al. // Chemical Physics. — 2002. — №12. — p. 54–65. [in Russian]
25. Korol'chenko I.A. Sravnenie rezultatov rascheta uslovij teplovogo samovozgoranija po razlichnym metodicheskim podhodam [Comparison of the Results of Calculating the Conditions of Thermal Spontaneous Combustion Using Various Methodological Approaches] / I.A. Korol'chenko // Fire and Explosion Safety. — 2004. — №1. — p. 8–14. [in Russian]
26. Kiselev Ja.S.. Kompensatsionnoe upravlenie i ego ispol'zovanie dlja prognoza samovozgoranija tselljuloznyh materialov [Compensation Control and Its Use for Predicting Spontaneous Combustion of Cellulosic Materials] / Ja.S. Kiselev, A.A. Toporishev // Fire Prevention and Mathematical Statistics in Fire Protection; — M. : VIPTSh, 1984. — p. 50–59. [in Russian]