ISSN 2542-2200

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выпуск 1 (1)

Воронеж 2017

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Воронежский государственный технический университет»

ISSN 2542-2200

Журнал издается 2 раза в год

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Редакционная коллегия

Главный редактор **С. А. Колодяжный**, канд. техн. наук, доцент
Ответственный секретарь **И. В. Ситников**

Члены редакционного совета

В. Н. Азаров – д-р техн. наук, профессор, заслуженный эколог РФ, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области образования, Советник РААСН, Волгоградский государственный технический университет

В. Ф. Асминин – д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова

Н. В. Бакаева – д-р техн. наук, Юго-Западный государственный университет

О. А. Калачева – д-р биол. наук, доцент., Воронежский филиал Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II

А. Н. Камлюк – канд. физ.-мат. наук, полковник внутренней службы, Университет гражданской защиты Республики Беларусь

В. Я. Манохин – д-р техн. наук, профессор, действительный член Российской экологической академии, Воронежский государственный технический университет

В. Л. Мурзинов – д-р техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет

С. Л. Пушенко – д-р техн. наук, профессор, Донской государственный технический университет

К. А. Скляров – канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет (заместитель главного редактора)

Е. А. Сушко – канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет (заместитель главного редактора)

А. Н. Чукарин – д-р техн. наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Ростовский государственный университет путей сообщения

Б. Р. Шакиртханов – канд. экон. наук, доцент, Алматинский технологический университет, Республика Казахстан.

Материалы публикуются в авторской редакции, за достоверность сведений, изложенных в публикациях, ответственность несут авторы.
Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 г. Воронеж, Московский просп., 14
Адрес редакции: 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, кафедра пожарной и промышленной безопасности

© Комплексная безопасность, 2017
© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

А. Ю. ЗЕНИН, А. В. КАЛАЧ, Е. В. КАЛАЧ, М. Б. ШМЫРЕВА
Методика выбора критериев для классификации объектов в противопожарном страховании на основе метода кластерного анализа 4

С. А. САЗОНОВА, С. Д. НИКОЛЕНКО, М. В. МАНОХИН, В.Я. МАНОХИН
Анализ безопасности труда и экологической безопасности технологических процессов при выбросе вредных веществ на асфальтобетонных заводах 10

Е. А. СУШКО, В. Н. ДУРУКИН
Анализ пожарной опасности строений из сип-панелей 18

В. Я. МАНОХИН, М. В. МАНОХИН, В. А. ПОПОВ
Основные проблемы с твердыми бытовыми отходами 21

В. Я. МАНОХИН, И. А. ИВАНОВА, С. А. САЗОНОВА
Разработка методов определения параметров рассеивания твердых атмосферных примесей 27

В. Л. МУРЗИНОВ
Динамика изменения температурного поля в зданиях и сооружениях при возникновении пожара .. 31

В. Л. МУРЗИНОВ
Моделирование средней температуры в помещении с вентиляцией в начальной стадии пожара 37

В. Л. МУРЗИНОВ, А. П. ПАРШИНА, М. В. ПАРШИН
Обзор последних научных работ в области прогнозирования опасных факторов пожара 43

Е. И. ГОЛОВИНА, И. А. ИВАНОВА, В. Я. МАНОХИН
Анализ дисперсного и элементного состава пыли от дробеструйных установок литейного производства 52

Д. А. САВУШКИН, И. В. МИХНЕВИЧ, С. Д. НИКОЛЕНКО
Исследования влияния на прочностные характеристики бетона теплового воздействия при пожаре 58

А. С. ЛОСКУТОВ, С. Д. НИКОЛЕНКО
Оценка влияния дисперсного армирования на качество бетонных конструкций после ударных воздействий 65

И. В. ХРОМКИНА, С. Д. НИКОЛЕНКО
Анализ аварии грузоподъемного крана 73

В. Л. МУРЗИНОВ, В. Я. МАНОХИН, Е. И. ГОЛОВИНА
Модель плотности распределения размера частиц пыли литейного производства 80

В. Л. МУРЗИНОВ
Метод построения температурного поля в помещении 88

УДК 368.11

МЕТОДИКА ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ПРОТИВОПОЖАРНОМ СТРАХОВАНИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

А. Ю. Зенин, А. В. Калач, Е. В. Калач, М. Б. Шмырева

Зенин Александр Юрьевич, ФГКУ «Специальное управление ФПС № 37 МЧС России».

Калач Андрей Владимирович, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, подполковник внутренней службы, д.х.н., заместитель начальника института по научной работе, профессор, AVKalach@gmail.com

Калач Елена Владимировна, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, к. т. н., доцент кафедры физики, EVKalach@gmail.com

Шмырева Марианна Борисовна, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, к.э.н., научный сотрудник организационно-научного и редакционно-издательского отдела, marianna-forme@gmail.com

Предложена методика, которая позволит отбирать признаки для решения задачи классификации объектов в противопожарном страховании для проведения кластерного анализа. Рассмотренный в статье подход в сочетании с сингулярным разложением матрицы «объект-признак» позволяет выбрать рабочий словарь признаков пожарной опасности, устойчивый к изменениям априорно неизвестного параметра модели данных.

Ключевые слова: противопожарное страхование, страхование от огня, метод кластерного анализа.

Требуемый уровень пожарной безопасности производственных объектов достигается с помощью систем предотвращения пожаров и взрывов, противопожарной защиты и организационно-технических мероприятий.

Управление пожарной безопасностью объектов предусматривает осуществление следующих процессов:

- создание организационной структуры управления пожарной безопасностью;
- нормативное обеспечение системы управления пожарной безопасностью;
- научно-техническое и информационное обеспечение системы управления пожарной безопасностью;
- мониторинг пожарной безопасности объектов;
- разработку и реализацию организационных и инженерно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности конкретных объектов;
- обучение работников и их подготовку к действиям по предупреждению и ликвидации пожаров;
- ликвидация пожаров, проведение аварийно-спасательных работ;
- материально-техническое и финансовое обеспечение;
- противопожарное страхование.

Несомненна важность и актуальность каждого научного исследования в области разработки теории и методов принятия решений. Существует большое количество методов и моделей принятия решений в различных условиях, среди них отдельное место занимают методы принятия решений в противопожарном страховании, которые наиболее востребованы в практических приложениях. Именно эти методы позволяют принимать объективно оптимальные решения с наиболее надежным результатом. Во всех моделях принятия решений прослеживается единый подход – для каждой альтернативы вычисляется некоторый числовой показатель ее привлекательности, называемый функцией полезности

© Зенин А. Ю., Калач А. В., Калач Е. В., Шмырева М. Б., 2017

альтернативы, и в результате анализа этого показателя принимается оптимальное решение. В классической теории функция полезности является суммой частных оценок альтернатив по критериям, что, конечно просто в вычислительном плане. Однако, такая модель не совершенна и имеет недостатки и ограничения, среди которых можно выделить два: функция полезности не линейна к числовым оценкам альтернатив по критериям ввиду того, что не учитывает степень выполнимости критериев, то есть того, на сколько удовлетворяют требованиям критерия все альтернативы в совокупности. И слабо выполнимые критерии, и выполнимые в высокой степени дают одинаковый вклад в функцию полезности. А так, как функция полезности очень чувствительна к оценкам альтернатив по критериям, то небольшое изменение одной из оценок по любому критерию может привести к изменению решения. Второй недостаток тесно связан с первым: все существующие методы принятия решений позволяют оценивать альтернативы, но не уделяют внимания анализу самих критериев: насколько они адекватны, выполнимы, объективны. С другой стороны, в настоящее время интенсивно развивается новое направление в области теории измерений – теория оценивания противопожарных тарифных ставок и коэффициентов [1].

Правилами страхования имущества юридических лиц от огня и других опасностей каждого Страховщика предусмотрена возможность возмещения реального ущерба вследствие гибели, утраты или повреждения застрахованного имущества, возникшего в результате следующих событии:

РИСК 1: пожар, удар молнии, взрыв, в том числе взрыв газа, употребляемого в бытовых целях, падение пилотируемых летательных аппаратов или их частей.

Кроме того, по соглашению сторон, особо оговоренному в договоре страхования, Страховщик может в дополнение к страхованию от рисков, перечисленных выше, предоставить страховую защиту от повреждения, утраты или гибели имущества вследствие следующих событии (далее «ДУ» - дополнительные условия):

РИСК 2: повреждение водой (ДУ No1 страхования от повреждения водой);

РИСК 3: стихийные бедствия (ДУ No2 страхования от стихийных бедствий);

РИСК 4: посторонние воздействия (ДУ No3 страхования от посторонних воздействий);

РИСК 5: противоправные действия третьих лиц (ДУ No4 страхования от противоправных действий третьих лиц);

РИСК 6: поломки машин и оборудования (ДУ No5 страхования поломок машин и оборудования);

РИСК 7: кража со взломом, разбои и грабеж наличных денег (ДУ No6 страхования наличных денег от кражи со взломом, разбоя и грабежа);

РИСК 8: бои стекол (ДУ No7 страхования боя стекол);

РИСК 9: повреждение электронного оборудования (ДУ No8 страхования электронного оборудования);

РИСК 10: порча имущества в холодильных камерах (ДУ No9 страхования от порчи имущества в холодильных камерах);

РИСК 11: ущерб при погрузочно-разгрузочных работах (ДУ No 10 страхования от ущерба при погрузочно-разгрузочных работах);

РИСК 12: терроризм, диверсии (ДУ No11 страхования от терроризма и диверсии).

При моделировании технических систем, которые подвержены воздействию стохастических факторов, широкое распространение получили вероятностные модели. Одним из наиболее распространенных методов в распознавании является статистический метод, основанный на байесовской теории [1].

Основой этого метода является известная теорема Байеса:

$$P(Si \ / \ A) = \frac{P(Si)P(A \ / \ Si)}{P(A)}$$

где P(Si / A) - апостериорное значение величины Si при условии, что произошло событие A;

P(A / Si) – условная вероятность наступления события A при условии, что произошло событие Si.

Покажем возможности использования

байесовского подхода в сфере оценки пожарного риска. В настоящем исследовании необходимо определить влияние некоторого фактора (угрозы) Y на степень некоторого типа противопожарной защиты объектов, представленных на рис. 1.

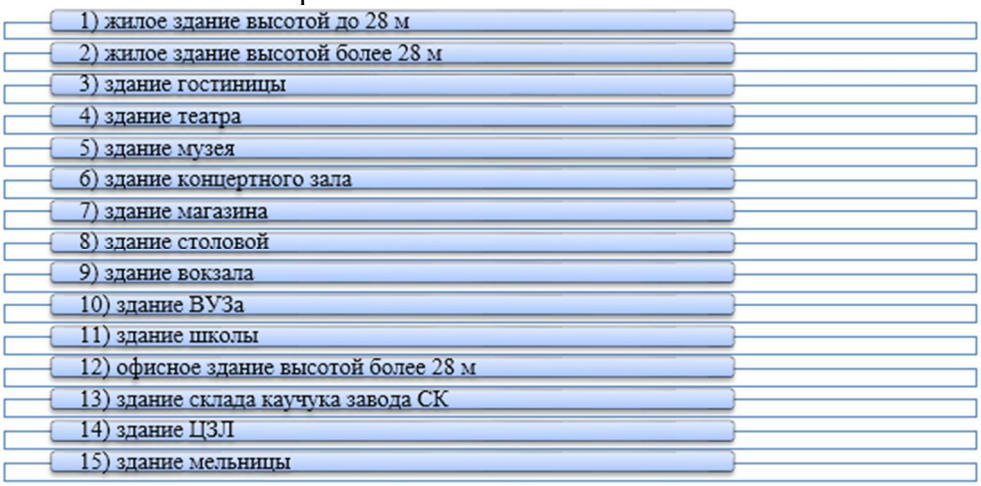


Рис. 1. Объекты для классификации в противопожарном страховании для проведения кластерного анализа

Проведем верификацию методики кластерного анализа в оценке 15 объектов противопожарного страхования, представленных на рис. 1 выше.

В начале выделим критерии для определения коэффициента оценки противопожарного состояния 15 объектов. К данным критериям, по мнению авторов, следует отнести следующие, рис. 2.

Унифицированные критерии оценки объектов противопожарного страхования

- 1 Применение электрооборудования, соответствующего классу пожароопасной и (или) взрывоопасной зоны, категории и группе взрывоопасной смеси
- 2 Применение в конструкции быстродействующих средств защитного отключения электроустановок или других устройств, исключающих появление источников зажигания
- 3 Применение оборудования и режимов проведения технологического процесса, исключающих образование статического электричества
- 4 Устройство молниезащиты зданий, сооружений и оборудования
- 5 Применение устройств, исключающих возможность распространения пламени из одного объема в смежный
- 6 Применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара
- 7 Устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей.
- 8 Устройство систем обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей
- 9 Применение систем коллективной защиты (в том числе противодымной) обеспечивающей деятельность пожарной охраны
- 10 Применение основных строительных конструкций с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемым степени огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности зданий и сооружений
- 11 Применение огнезащитных составов и строительных материалов для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций
- 12 Устройство аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из аппаратуры
- 13 Применение первичных средств пожаротушения
- 14 Применение автоматических установок пожаротушения
- 15 Наличие лифтов для перевозки пожарных подразделений
- 16 Наличие противопожарного водоснабжения
- 17 Организация деятельности подразделений пожарной охраны на объекте
- 18 Наличие требуемых проездов и подъездов пожарной техники
- 19 Организация обучения работников по программам ПТМ (пожарно-технического минимума), противопожарным инструктажам
- 20 Организация добровольной пожарной охраны на объекте

Рис. 2. Унифицированные критерии для оценки объектов противопожарного страхования

С целью осуществления экспертной оценки организуются две группы экспертов, специализирующихся в области страхования и перестрахования и знакомых друг с другом. В первую группу включены специалисты перестраховочных компаний, а во вторую – специалисты по страхованию имущественных рисков. Число экспертов в группе № 1 равно 5 человек; число экспертов в группе № 2 также равно 5.

Результаты нормализованного значения при определении коэффициента оценки противопожарного состояния объектов

Критерий*	Единица измерения	Значения в нормализованной матрице u_{ij}														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Не требуется	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1
2	Да	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Не требуется	-	-	-	2	2	2	1	2	2	1	1	-	1	1	1
4	Неисправно	2	1	1	2	1	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1
5	Не требуется	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
6	Да	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
7	Да	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Не требуется	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Не требуется	-	1	-	3	3	3	3	3	1	1	-	1	1	1	1
10	Да	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
11	Не требуется	-	-	-	1	3	1	3	3	1	1	-	-	-	-	1
12	Не требуется	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-
13	Нет	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
14	Не требуется	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-	-	1	2	2
15	Не требуется	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
16	Да	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	Не требуется	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2
18	Да	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	Низкая	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1
20	Нет	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1	1

* Нумерация объектов в соответствии с рис. 1. Нумерация критериев в соответствии с рис. 2

Возможности использования полученных результатов открываются для всех социально-экономических систем, использующих в своей практике противопожарное страхование. Полученные апостериорные вероятности могут быть использованы для выработки управляющих воздействий, направленных на поддержание системы защиты в требуемом состоянии.

Таким образом, рассмотренный подход в сочетании с сингулярным разложением матрицы «объект-признак» позволяет выбрать рабочий словарь признаков пожарной опасности, устойчивый к изменениям априорно неизвестного параметра модели данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зикратов И. А., Техтереков С. А., Чижов В. А. Методика выбора информативных признаков для классификации объектов на основе // Научно-аналитический журнал" вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России". – 2014. – №. 3. – С. 40-44.
2. Бондарев А. Е., Галактионов В. А. Визуальный анализ кластерных структур в многомерных объемах данных //Научная визуализация. – 2016. – Т. 8. – №. 3. – С. 1-24.
3. Сметанкина Г. И., Деревянко В. М. Социально–экономические аспекты противопожарного страхования в современной России // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016. – №. 9. – С. 248-250.
4. Ермасов, С. В. Страхование : учебник для бакалавров / С. В. Ермасов, Н. Б. Ермасова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2013. — 748 с.
5. Зенин А. Ю. и др. Методический подход к оценке и экономическому обоснованию тарифных ставок противопожарного страхования имущества // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – №. 1 (18).
6. Abakanov T. et al. Formalised assessment of the earth crust seismic potential (mmax) of kazakhstan based on a complex of seismogeophysical parameters // The Republic of Kazakhstan. – 2016. – Т. 2224.
7. Трифонов Б. И. Практические аспекты расчета тарифа в рисковых видах страхования // Стратегии бизнеса. – 2016. – №. 3 (23).
8. Суханов Ю. Ю. О некоторых особенностях независимой оценки пожарного риска в российской федерации // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016.
9. Lozhkin V. et all. Differential neural network approach in information process for prediction of roadside air pollution by peat fire // Materials Science and Engineering Conference Series. – 2016. – Т. 158. – №. 1.
10. Porfiriev B. Crises in Russia: contemporary management policy and practice from a historical perspective. – Routledge, 2016.
11. Rawlings P. The Great Fire of London and the Origins of Fire Insurance: A Brief Note // Browser Download This Paper. – 2016.

TECHNIQUE OF THE CHOICE OF CRITERIA FOR CLASSIFICATION OF OBJECTS IN FIRE-PROOF INSURANCE ON THE BASIS OF A METHOD MAIN A COMPONENT

A. Y. Zenin, A. V. Kalach, E. V. Kalach, M. B. Shmyreva

Zenin Alexander Yurievich, FGKU «Special management the Federal fire service №37 of EMERCOM of Russia».
Kalach Andrej Vladimirovich, Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia, D. Sc. in Chemistry, the deputy chief on scientific work of Institute Prof. AVKalach@gmail.com
Kalach Elena Vladimirovna, Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, EVKalach@gmail.com
Shmyreva Marianna Borisovna Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Ph. D., researcher in organizational and scientific and editorial and publishing Department: mariannaforme@gmail.com

ABSTRACT

A technique is proposed that will allow selecting characteristics for solving the problem of classification of objects in fire insurance for cluster analysis. The approach considered in the article in combination with the singular decomposition of the object-attribute matrix makes it possible to select a working dictionary of fire danger signs that is resistant to changes in the a priori unknown parameter of the data model.
Keywords: fire insurance, fire insurance, cluster analysis method.

REFERENCES

1. Zikratov I. A., Tekhterekov S. A., CHizhov V. A. Metodika vybora informativnyh priznakov dlya klassifikacii obektov na osnove metoda glavnyh komponent //nauchno-analiticheskij zhurnal" vestnik sankt-peterburgskogo universiteta gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii". – 2014. – №. 3. – s. 40-44.
2. Bondarev A. E., Galaktionov V. A. Vizual'nyj analiz klasternyh struktur v mnogomernyh obemah dannyh //Nauchnaya vizualizaciya. – 2016. – T. 8. – №. 3. – S. 1-24.
3. Smetankina G. I., Derevyanko V. M. Social'no–ehkonomicheskie aspekty protivopozharnogo strahovaniya v sovremennoj rossii // Novaya nauka: sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya. – 2016. – №. 9. – S. 248-250.
4. Ermasov, S. V. Insurance: a textbook for bachelors / S. V. Ermasov, N. B. Ermasova. - 4 th ed., Pererab. And additional. - M.: Publishing House Yurayt, 2013. - 748 p.5. Zenin A. YU. i dr. Metodicheskij podhod k ocenke i ehkonomicheskomu obosnovaniyu tarifnyh stavok protivopozharnogo strahovaniya imushchestva //Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2016. – №. 1 (18).
6. Abakanov T. et all. Formalised assessment of the earth crust seismic potential (mmax) of kazakhstan based on a complex of seismogeophysical parameters // The Republic of Kazakhstan. – 2016. – T. 2224.
7. Trifonov B. I. Prakticheskie aspekty rascheta tarifa v riskovyh vidah strahovaniya //Strategii biznesa. – 2016. – №. 3 (23).
8. Suhanov YU. YU. O nekotoryh osobennostyah nezavisimoj ocenki pozharnogo riska v rossijskoj federacii //Novaya nauka: sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya. – 2016.
9. Lozhkin V. et al. Differential neural network approach in information process for prediction of roadside air pollution by peat fire //Materials Science and Engineering Conference Series. – 2016. – T. 158. – №. 1.
10. Porfiriev B. Crises in Russia: contemporary management policy and practice from a historical perspective. – Routledge, 2016.
11. Rawlings P. The Great Fire of London and the Origins of Fire Insurance: A Brief Note //Browser Download This Paper. – 2016.

УДК 331.45: 574

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫБРОСЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДАХ

С. А. Сазонова, С. Д. Николенко, М. В. Манохин, В.Я. Манохин

Сазонова Светлана Анатольевна, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru.

Николенко Сергей Дмитриевич, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

Манохин Максим Вячеславович, Воронежский государственный технический университет, ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: fellfrostqtw@gmail.com.

Манохин Вячеслав Яковлевич, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: manohinprof@mail.ru.

Рассматриваются основные вредные вещества, выделяемые на асфальтобетонных заводах от технологических процессов на всех стадиях приготовления асфальтобетона. Приведены источники выделения и выбросов загрязняющих веществ, классы опасности и предельно допустимые концентрации выделяемых вредных веществ. Выявлены наиболее опасные вредные вещества, входящие в состав пыли, представляющие опасность для здоровья работающих на асфальтобетонных заводах. Проведен анализ экологической безопасности технологических процессов и безопасности труда на опасных и вредных производствах.

Ключевые слова: безопасность труда, экологическая безопасность, вредные вещества, предельно допустимые концентрации, технологические процессы, асфальтобетонные заводы.

Введение. Технологические процессы на асфальтобетонных заводах (АБЗ) характеризуются значительным объемом вредных веществ, выделяемых в атмосферу, и представляют угрозу окружающей среде. Выделение вредных веществ сопровождают все стадии приготовления асфальтобетона. Загрязняющие атмосферу вещества, отходящие от АБЗ наносят огромный ущерб объектам экономики и здоровью людей [1]. С целью повышения уровня безопасности труда необходимо провести анализ экологической безопасности технологических процессов на АБЗ и лишь затем предложить комплекс мероприятий по уменьшению выбросов опасных и вредных веществ в атмосферу рабочих зон.

Источники выделения вредных веществ. Допустимое содержание вредных веществ в атмосфере населенных пунктов и в воздухе рабочей зоны помещений [2, 3] регламентируется нормативами, указывающими предельно допустимые концентрации (ПДК) или ориентировочно безопасные уровни вредности веществ. Контроль над состоянием атмосферы [4, 5, 6] проводится по результатам инвентаризации источников загрязнения атмосферы, которая проводится как для организованных так и для не организованных выбросов.

Источники загрязнения воздушного бассейна подразделяются на источники выделения и источники выбросов вредных веществ в атмосферу. Источником выделения вредных веществ называется технологический агрегат, установка, устройство, аппарат и т.п., выделяющий в процессе эксплуатации вредные вещества. Источником выбросов вредных веществ называется устройства (труба, аэрационный фонарь, вентиляционная шахта и т.п.), посредством которого осуществляется выброс вредных веществ в атмосферу.

Выбросы вредных веществ подразделяются на организованные и неорганизованные.

© Сазонова С. А. Николенко С. Д., Манохин М. В., Манохин В. Я.

Организованными выбросами являются выбросы, отводимые от мест выделения системой газоотводов, что позволяет применить для их улавливания соответствующие установки. Неорганизованными являются выбросы, возникающие за счет негерметичности технологического оборудования, газоотводных устройств, резервуаров, хранения сырья и т.д.

К неорганизованным источникам выделения вредных веществ на АБЗ можно также отнести [1]:

- места выгрузки материалов из транспортных средств;
- узлы загрузки и разгрузки материалов в сушильный барабан;
- горячие элеваторы;
- места хранения угля, песка и щебня.

Неорганизованные источники выделения вредных веществ, возникающие из-за негерметичности технологического оборудования и газоотводных устройств (сушильного барабана, топочных устройств, грохотов, элеваторов, мешалок минерального порошка) к моменту проведения инвентаризации должны быть устранены.

Перечень характерных источников выделения и выброса. Примерный перечень характерных источников выделения и выброса приведен в табл. 1 [1]. Основные вредные вещества, отходящие от АБЗ - это пыль, содержащая свободную двуокись кремния SiO_2, и газы, являющиеся продуктами сгорания мазута (или другого используемого топлива) и продуктами испарения битума. При неполном сгорании топлива может образоваться сажа.

Таблица 1. Источники выделения и выбросов загрязняющих веществ на асфальтобетонных заводах

Наименование участка	Наименование источников выделения	Наименование источника выброса
Асфальто-смесительное отделение	1. Место пересыпки каменных материалов в разгрузочную коробку 2. Узел присоединения сушильного барабана к разгрузочной коробке 3. Сушильный барабан 4. Элеватор сушильного типа 5. Грохот 6. Места пересыпки наполнителей в бункеры 7. Мешалки 8. Пневмотранспорт наполнителя в силосные емкости	Пылеуловители с выхлопными трубами
Битумное отделение	Битумные котлы Окислительные установки	Выхлопные трубы
Камнедробильное отделение	Место пересыпки камня в приемный бункер Щековая дробилка Конусная дробилка Грохот Место пересыпки молотых материалов с конвейера	Неорганизованные выбросы
Отделение по приготовлению минерального порошка	Сушильный барабан Шаровая мельница Узел выгрузки (место пересыпки) порошка	Пылеуловители. Выхлопная труба сушильного барабана.
Котельная	Котлы	Дымовая труба

Анализ инвентаризационных данных показывают, что отход пыли на АБЗ составляет от 1 до 5% от производительности асфальтобетонной установки [1].

Для преодоления сверхнормативных выбросов в атмосферу на АБЗ необходима организация надежной работы местных отсосов от неорганизованных источников пылевыделения, очистка их и рассеивание выброса.

Основной причиной пылевыделения в асфальтобетонных установках является превышение давления в их агрегатах над атмосферным. Следовательно, необходимо обес-

печивать разряжение в технологических агрегатах установок.

Основными причинами отсутствия разряжения являются: повышение давления в момент загрузки материала в бункеры, негерметичность соединения узлов установок, пульсирующие режимы работы топок и сушильного барабана, повышение гидравлического сопротивления по узлам пылеочистительного тракта в том числе высокий уровень воды в системах мокрой очистки, засорение узлов и агрегатов системы пылеулавливания.

Состав выделяемых вредных веществ. В состав выделяемых вредных веществ на АБЗ входит пыль, окислы серы (SO_2, SO_3), окислы азота (NO_2, NO), окись углерода (угарный газ CO), углекислый газ CO_2, фенол, формальдегид (HCHO), углеводороды (CnHм), в том числе бенз(а)пирен ($C_{20}H_{12}$), пятиокись ванадия (V_2O_5), сажа (C), стирол (C_8H_8), толуол (C_7H_8). Класс опасности и ПДК выделяемых веществ представлены в табл. 2.

Таблица 2. Класс опасности и ПДК выделяемых вредных веществ

Наименование выделяемых вредных веществ	Класс опасности	ПДК, мг/м^3
Пыль	3	0,5
Двуокись азота	4	0,085
Окись углерода	4	5,0
Углекислый газ	4	0,7
Фенол	4	0,01
Формальдегид	2	0,035
Углеводороды	4	5
Бенз(а)пирен	1	$1 \cdot 10^{-6}$
Сажа	3	0,15
Пятиокись ванадия	1	0,002
Стинол	4	0,04
Толуол	3	0,6

Наиболее опасные для здоровья людей вредные вещества. Наиболее опасна для здоровья людей, особенно работающих на заводах, пыль, содержащая свободную двуокись кремния - SiO_2 (кремнезем). Количество кремнезема в пыли зависит от типа перерабатываемой горной породы: в кварцитах 57-92%, в песчаниках 30-75%, в гнейсах - 27-74%, в гранитах - 25-65%, в известняках 3-37% [1]. Ядовитость кремнезема мала, однако при длительном вдыхании происходят медленно развивающиеся изменения в легких. Причем выявлена прямая зависимость между весовой концентрацией пыли в воздухе и заболеваемостью дышащих людей. Канцерогенные свойства пыли были определены с помощью экспериментов на животных. Рассмотренные опасные вещества непосредственно отрицательно влияют на требуемый уровень безопасности труда [7, 8, 9].

Опасность пыли для здоровья определяются также ее гранулометрическим составом, т.е. количественным соотношением в ней фракций пыли различных размеров. Пыль, выделяемая вместе с продуктами сгорания или в технологическом процессе приготовления асфальтобетонной смеси, может быть классифицирована по размерам частичек на: крупную - размером свыше 40-55 мкм, среднюю - размером от 1 до 40 мкм и тонкую - размером менее 1 мкм. При дроблении и грохочении 85% выделяемой пыли имеет размер фракций до 20 мкм, т.е. относится к тонкой пыли, имеющей скорость оседания менее 7 см/с. Крупные частицы пыли задерживаются на слизистой оболочке верхних дыхательных путей, частицы же с размерами близкими к 1 мкм могут проникать в альвеолы легких, где и задерживается основная их часть.

Наибольшее количество окислов серы образуется при сжигании высокосернистых мазутов. В выбросах практически вся сера окисляется до сернистого ангидрида SO_2.

Сернистый ангидрид относится к раздражающим газам. При концентрации от 0,3 до 1 $см^3/м^3$ его замечают по специфическому привкусу, от 3 $см^3/м^3$ и выше он легко определяется по запаху, концентрация от 6 до 12 $см^3/м^3$ вызывают раздражение слизистых оболочек носа и горла, а более 20 $см^3/м^3$ также и глаз.

Вдыхание SO_2 вызывает болезненные явления в легких и верхних дыхательных путях, иногда возникает отек легких, глотки, а также паралич дыхания.

Серный ангидрид SO_3 также является раздражающим газом, способным при концентрации около 1 $см^3/м^3$ вызывать ощущение удушья. Сернистый ангидрид даже при незначительных концентрациях наносит существенный ущерб растениям.

Ущерб, причиняемый зданиям и сооружениям, зависит от влажности воздуха, температуры поверхности и др. факторов. В присутствии $S0_2$ ускоряется коррозия металлов в воздухе. Сернистый газ разрушающе действует на строительные конструкции, так как содержащиеся в цементе карбонаты кальция, реагируя с SiO_2, при наличии влаги, переходят в нестойкие сульфаты.

Выбрасываемые в атмосферу окислы азота в основном состоят из NO_2, т.к. сравнительно быстро NO в атмосфере доокисляется до NO_2. Основания часть NO не имеет цвета и запаха, но является весьма токсичным газом [1]. Человек, находящийся в атмосфере даже со смертельной концентрацией двуокиси азота, в течение первых часов ее воздействия не ощущает недомоганий. В конце восьмого часа появляется удушье, тошнота, боли в животе, кашель, учащается пульс, после чего наступает расстройство сердечной деятельности, смерть наступает через 8-48 часов.

Концентрации более 50 $см^3/м^3$, раздражающие слизистые оболочки носа и глаз, должны рассматриваться как опасные при воздействии небольшой продолжительности. Длительное воздействие на рабочих двуокиси азота с концентрациями от 25 до 100 $см^3/м^3$ вызывает раздражение легких.

Окись углерода (угарный газ) CO образуется при неполном сгорании веществ, содержащих углерод, в том числе топлив всех видов (мазута, угля, природного газа и т.д.). Оказывает быстрое токсичное действие на организм человека при повышенной концентрации в воздухе. Некоторые лица обладают повышенной чувствительностью к воздействию этого вещества, первыми симптомами отравления являются головные боли, тошнота и чувство слабости. Особенно чувствительны беременные женщины и лица ослабленные, страдающие хроническим заболеваниями легких, сердца, печени и др.

Действие окиси углерода на организм человека основывается на вытеснении кислорода из гемоглобина крови, что делает кровь неспособной переносить кислород из легких к тканям. Из-за пониженного содержания кислорода в крови наступает удушье.

Углекислый газ выделяется при неполном сжигании топлива в смесители и котельной, а также от карбюраторного и дизельного автотранспорта. Сверхнормативное содержание углекислого газа в воздухе может привести к отравлению организма человека.

Возможны отравления парами фенола, мелкой пылью, образующейся при конденсации в более холодном воздухе паров, а также при попадании его на кожу.

Поражение 0,5-0,25 поверхности тела смертельно, при поражении 0,25-0,17 поверхности происходит отравление с повышением температуры, нарушением функций нервной системы, кровообращения и дыхания.

Формальдегид в топках образуется при переохлаждении фронта горения от потоков избыточного вторичного воздуха или от холодных стенок топок.

Углеводороды летучие и их продукты на АБЗ образуются как продукты неполного сгорания топлив, выделяются при хранении и транспортировке битума, а также от автотранспорта. Они оказывают раздражающее действие на глаза и дыхательные пути, понижают видимость, могут влиять на растения. Защита атмосферного воздуха от углеводородов также необходима из-за негативной роли в фотохимических реакциях с образованием озона и пероксиацетонитрата.

Сжигание мазута в топках сушильных барабанов сопровождается значительным выделением бенз(а)пирена ($C_{20}H_{12}$). Среднесу-

точная его концентрация в зоне АБЗ составляет 0,004-4,2 мг/м^3 [1].

При локальном недостатке кислорода в отдельных зонах топки компоненты неполного сгорания мазута подвергаются пиролизу с образованием бенз(а)пирена. Бенз(а)пирен обладает канцерогенным действием, поэтому является наиболее опасным ингредиентом. Н.В. Лавров предлагает следующий механизм образования бенз(а)пирена:

$C_6H_2+3C_2H_2+4C_2H=C_{20}H_{12}$,

где C_6H_2 - полирадикал-зародыш сажи, C_2H_2 и C_2H – элементарные строительные блоки.

Сажа (С) присутствует на АБЗ в продуктах горения топлив (особенно мазута и дизельного топлива) в смесителе котельных и автотранспорта. Согласно теоретической концепции П.А. Теснера миссия сажи сопровождается выходом канцерогенного $C_{20}H_{12}$. Оказывает заражающее действие на глаза и органы дыхания.

Пятиокись ванадия образуется при сжигании мазута, является высокотоксичным веществом и сильнейшим катализатором высокотемпературной кислородной коррозии легированной стали с высоким содержанием никеля.

Стирол и толуол могут быть в выбросах АБЗ в случае использования в технологии приготовления асфальтобетона отходов ректификации стирола.

При совместном присутствии в воздухе окислов азота, сернистого ангидрида, окиси углерода и фенола они являются веществами однонаправленного действия [1], т.е. вредными веществами, близкими по химическому строению и характеру биологического воздействия на организм человека. Следовательно, необходимо рассчитать суммарную максимальную концентрацию этих веществ в долях ПДК и проверить выполнение условия качества атмосферного воздуха не только для каждого из этих веществ, но и для их суммы.

В настоящее время ведутся научно-исследовательские работы, направленные на использование в производстве асфальтобетона новых компонентов, особенно таких, которые являются отходами других отраслей промышленности, не утилизируемыми на предприятиях, производящих данные отходы [1]. Использование таких отходов способствует сбережению ресурсов, охране окружающей среды, но может привести к выбрасыванию в атмосферу новых, непредусмотренных отраслевыми нормативами ингредиентов.

В этом случае перечень вредных веществ, по которым необходимо проводить инвентаризацию выбросов и разработку нормативов предельно допустимых выбросов, подлежит уточнению совместно с предприятиями - разработчиками технологии производства асфальтобетона с использованием нетрадиционных материалов и предприятиями, поставляющими отходы своего производства для дальнейшего использования в технологии приготовления асфальтобетонной смеси.

Своевременное устранение влияния на здоровье людей от выброса вредных и опасных веществ при производстве асфальтобетона позволит обеспечить требуемые уровни экологической безопасности технологических процессов и безопасности труда на опасных и вредных производствах [10, 11, 12, 13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манохин, В.Я. Научно-практические и методологические основы экологической безопасности технологических процессов на асфальтобетонных заводах / В.Я. Манохин // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 2004.
2. Николенко, С.Д. Защита атмосферного воздуха с целью обеспечения безопасных условий труда на асфальтобетонных заводах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2016. – № 2 (13). – С. 66-75.
3. Сазонова, С.А. Расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на промышленной площадке и выбор эффективных мер по обеспечению безопасности труда / С.А. Сазонова,

М.В. Манохин, В.Я. Манохин // Моделирование систем и процессов. - 2016. - Т. 9. - № 2. - С. 51-54.
4. Манохин, М.В. Защита атмосферы от выбросов и оценка условий труда на асфальтобетонных заводах / М.В. Манохин, В.Я. Манохин, С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. 2016. Т. 9. № 3. С. 42-45.
5. Сазонова, С.А. Особенности обеспечения безопасности труда и охрана окружающей среды на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин // Моделирование систем и процессов. - 2016. - Т. 9. - № 3. - С. 49-52.
6. Манохин, М.В. Разработка конструктивных решений по охране труда обеспечивающих обезпыливание выбросов на асфальтобетонных заводах / М.В. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. - 2016. - № 2 (13). - С. 60-65.
7. Манохин, М.В. Безопасность труда в технологическом процессе "горячего" приготовления асфальтобетона / М.В. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. - 2016. - № 2 (13). - С. 76-82.
8. Сазонова, С.А. Создание безопасных условий труда на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. - 2016. - № 2 (13). - С. 83-88.
9. Сазонова, С.А. Обеспечение пожаровзрывобезопасности и безопасности труда на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, М.В. Манохин, С.Д. Николенко // Моделирование систем и процессов. - 2016. - Т. 9. - № 2. - С. 54-57.
10. Сазонова, С.А. Требования к безопасности труда на асфальтобетонных заводах при погрузочно-разгрузочных работах / С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, С.Д. Николенко // Моделирование систем и процессов. - 2016. - Т. 9. - № 2. - С. 57-60.
11. Сазонова, С.А. Обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных и цементобетонных заводах при эксплуатации машин и оборудования / С.А. Сазонова, М.В. Манохин, С.Д. Николенко // Моделирование систем и процессов. - 2016. - Т. 9. - № 2. - С. 63-66.
12. Манохин, М.В. Экономическая эффективность мероприятий по безопасности труда в технологическом процессе "горячего" приготовления асфальтобетона / М.В. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. - 2016. - № 2 (13). - С. 89-93.
13. Сазонова, С.А. Влияние запыленности рабочей зоны операторов смесителей асфальтобетонных заводов на оценку безопасности труда / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин, В.Я. Манохин // Моделирование систем и процессов. - 2016. - Т. 9. - № 3. - С. 53-56.

ANALYSIS OF SAFETY OF LABOR AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AT THE DISCHARGE OF HARMFUL SUBSTANCES IN ASPHALT CONCRETE PLANTS

S. A. Sazonova, S. D. Nikolenko, M. V. Manokhin, V. Ya. Manokhin

Sazonova Svetlana Anatol'evna, Voronezh State Technical University, candidate of technical sciences, docent of fire and industrial safety department, e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru.
Nikolenko Sergey Dmitrievich, Voronezh State Technical University, candidate of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.
Manokhin Maxim Vyacheslavovich, Voronezh State Technical University, assistant of fire and industrial safety department; e-mail: fellfrostqtw@gmail.com.
Manokhin Vyacheslav Yakovlevich, Voronezh State Technical University, doctor of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: manohinprof@mail.ru.

ABSTRACT

The basic harmful substances allocated on asphalt-concrete plants from technological processes at all stages of preparation of asphalt concrete are considered. Sources of emissions and emissions of pollutants, hazard classes and maximum permissible concentrations of released harmful substances are given. The most dangerous harmful substances, which are part of the dust, are dangerous for workers working in asphalt plants. The analysis of ecological safety of technological processes and safety of work in dangerous and harmful manufactures is carried out.
Keywords: labor safety, ecological safety, harmful substances, maximum permissible concentrations, technological processes, asphalt-concrete plants.

REFERENCES

1. Manohin V.Ya. Scientific-practical and methodological foundations of ecological safety of technological processes on asphalt-concrete plants. The dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences, Saint-Petersburg, 2004.
2. Nikolenko S.D., Sazonova S.A., Manohin M.V. Protection of atmospheric air to ensure safe working conditions in asphalt plants. Scientific herald of the Voronezh State Architectural and Construction University. Series: Physicochemical problems and high technologies of building materials science, 2016, no. 2 (13), pp. 66-75.
3. Sazonova S.A., Manohin M.V., Manohin V.Ya. Calculation of dispersion of pollutant emission parameters at the industrial site and selection of effective measures to ensure occupational safety. Modeling Systems and Processes, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 51-54.
4. Manokhin M.V., Manohin V.Ya., Sazonova S.A. Protection of the atmosphere from emissions and assessment of working conditions in asphalt plants. Modeling systems and processes, 2016, v. 9, no. 3., pp. 42-45.
5. Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Manokhin V.Ya. Features of labor safety and environmental protection in asphalt plants. Modeling of systems and processes, 2016, vol. 9, no. 3, pp. 49-52.
6. Manokhin M.V., Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Manokhin V.Ya. Development of constructive solutions for labor protection ensuring the emission of dust at asphalt plants. Scientific herald of Voronezh State Architectural and Construction University. Series: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science, 2016, no. 2 (13), pp. 60-65.
7. Manokhin M.V., Nikolenko S.D., Sazonova S.A., Manokhin V.Ya. Safety in the process of "hot" preparation of asphalt concrete. Scientific herald of Voronezh State Architectural and Construction University. Series: Physicochemical problems and high technologies of building materials science, 2016, no. 2 (13), pp. 76-82.

8. Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Manokhin M.V. Creating safe working conditions in asphalt plants. Scientific herald of Voronezh State Architectural and Construction University. Series: Physicochemical problems and high technologies of building materials science, 2016, no. 2 (13), pp. 83-88.
9. Sazonova S.A., Manokhin M.V., Nikolenko S.D. Provision of fire and explosion safety and labor safety in asphalt plants. Modeling of systems and processes, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 54-57.
10. Sazonova S.A., Manokhin V.Ya., Nikolenko S.D. Requirements for labor safety in asphalt plants during loading and unloading operations. Modeling of systems and processes, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 57-60.
11. Sazonova S.A., Manokhin M.V., Nikolenko S.D. Ensuring labor safety in asphalt concrete and cement-concrete plants in the operation of machinery and equipment. Modeling of systems and processes, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 63-66.
12. Manokhin M.V., Sazonova S.A., Nikolenko S.D. Economic efficiency of safety measures in the process of "hot" preparation of asphalt concrete. Scientific herald of Voronezh State Architectural and Construction University. Series: Physicochemical problems and high technologies of building materials science, 2016, no. 2 (13), pp. 89-93.
13. Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Manokhin M.V., Manokhin V.Ya. Influence of dustiness of a working zone of operators of mixers of asphalt-concrete plants on an estimation of safety of work. Modeling of systems and processes, 2016, vol. 9, no. 3, p. 53-56.

УДК 614.841.1

АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СТРОЕНИЙ ИЗ СИП-ПАНЕЛЕЙ

Е. А. Сушко, В. Н. Дурукин

Сушко Елена Анатольевна, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., зав. кафедрой пожарной и промышленной безопасности, e-mail: u00075@vgasu.vrn.ru.

Дурукин Вячеслав Николаевич, Воронежский государственный технический университет, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: e995@mail.ru.

Выполнен анализ использования СИП – панелей при строительстве зданий и сооружений различного функционального значения, их воздействия на окружающую среду, легкость в сборке, рассмотрена степень огнестойкости. Сделан вывод, что структура СИП – панелей позволяет использовать их в строительстве многих социально значимых объектов. Обсуждаются пути дальнейшего совершенствования структуры СИП – панелей и расширения их применения.

Ключевые слова: строительство, пожарная безопасность, строительные материалы, СИП-панели.

Современное общество нуждается в качественном, способном удовлетворить внутренние потребности каждого человека жилье. Часто бывают ситуации, когда необходимо как можно скорее возвести новое строение, в случае, когда люди потеряли свои дома в результате наводнений, землетрясений, пожаров и других стихийных бедствий. Поэтому особую актуальность во всем мире приобретает вопрос строительства зданий и сооружений из SIP(сэндвич) панелей.

СИП - панели - это удивительная и уникальная по своим свойствам сэндвич панель. Сегодня в Европе и США по СИП технологии строится около 80% всех частных зданий любого назначения. В России, к сожалению, данная технология пока не находит должного развития, несмотря на растущую популярность. Однако, справедливости ради, следует отметить, что все чаще на просторах нашей страны встречаются сборные коттеджи, отели, садовые строения.

Строительство зданий из СИП - панелей – так называемый канадский способ строительства, существующий на протяжении многих лет. В России его называю строительством из структурно-изолированных панелей. Это предполагает долговечность жилья. Есть много примеров. Так, сегодня в США и Канаде успешно эксплуатируются дома, которым более сорока лет.

Строительство из СИП панелей позволяет строить дом в течение 1-2 недель непосредственно на конкретной территории. Время окончательной сдачи дома в эксплуатацию определяется сроком, в течение которого может быть сделана внешняя и внутренняя отделка. Как правило, сдача "под ключ" делается в течение 4 месяцев.

Дома, возведенные из СИП - панелей имеют ряд положительных и отрицательных качеств. Так, благодаря используемой изоляции из минеральной ваты, они наделены уникальными теплоизоляционными свойствами, когда гармоничное температура поддерживается круглый год: в жару прохладно, а в холод тепло. Эти панели легко выдерживают перепады температур от -50°С до +50°С, что соизмеримо с теплотехническими характеристиками кирпичной стены толщиной в два метра. Затраты на строительство такого дома за счет экономии тепла и электроэнергии окупается за 10 лет [1].

Дом из СИП-панелей в зависимости от марки используемого полистирола представляют собой своеобразную крепость, способную выдержать значительные вертикальные нагрузки и землетрясения до 9 баллов.

© Сушко Е. А., Дурукин В. Н., 2017

Особое значение имеет тот факт, что строительство из сэндвич-панелей имеет низкую стоимость, так как снижение затрат происходит за счет фундамента, благодаря легкости дома из этих панелей и за счет специального оборудования, позволяющего монтировать здание вручную.

Значительным преимуществ зданий из СИП-панелей является их высокая устойчивость к воздействию огня. Это происходит за счет использования при изготовлении панелей специальных пропиток - антипиренов. Антипиренами называются пропитки, которые благодаря своему составу препятствуют возгоранию и не поддерживают горение. Антипирены используются для обработки органических материалов для защиты их от пожара. Используются для обработки домов из СИП-панелей сразу после окончания строительства здания и до начала отделочных работ. Огромное значение имеет тот факт, что антиперен абсолютно безопасен для людей и животных.

По своему строению панели состоят из трех слоев: двух слоев ОСП (ОСП – ориентировано стружечные плиты) и расположенного между ними слоя утеплителя. Утеплитель может быть изготовлен из пенополистирола, пенополиуретана, минеральной ваты или стекловолокна. Ориентировано стружечные плиты значительно увеличивают прочность и влагостойкость здания, они обработаны особым огнебиозащитным составом. Пенополистирол является негорючим материалом, самозатухающим, не выделяет вредных веществ при высоких температурах, а минеральная вата является наименее горючим, чем обычные пены, и препятствует распространению огня в случае его возникновения. Для сравнения, количество энергии, выделяемое при сгорании полистирола, примерно в 7 раз меньше, чем при сжигании древесины, и минеральная вата способна выдерживать температуры свыше 1000 ^{0}С [2,3]. Благодаря этим факторам пожаростойкость зданий из СИП-панелей значительно повышает.

Противопожарные свойства зданий из СИП - панелей также значительно увеличены за счет использования двухслойной обшивки стены, состоящей из гипсокартона и гипсоволоконных плит (ГКЛ/ГКЛВ), которые также способствуют дополнительной тепло- и звукоизоляции, предотвращает распространение дыма и огня [4]. Распространение дыма и огня также не происходит за счет герметичности пространства, достигнутого благодаря плотным стыкам панелей [5]. В целом здание, построенное из СИП - панелей соответствуют третьей степени огнестойкости, при этом способность строительных конструкций сохранять свои рабочие функции под действием высоких температур обеспечивается в течение одного часа.

Взгляды сторонников и противников по отношению к огнестойкости зданий, построенных из СИП - панелей различаются. Противники сэндвич - панелей считают, что класс пожарной безопасности домов из СИП - панелей во многом совпадает с классом пожарной безопасности для деревянных строений. Стоит отметить, что пожар может произойти в здании, построенном из любого материала: камня, кирпича, дерева и т. д. В процессе эксплуатации здания владельцы должны соблюдать требования пожарной безопасности, с поправками на особенности СИП - панелей.

Исходя из вышесказанного, можно сделать заключение, что структура СИП - панелей не имеет отрицательного воздействия на окружающую среду, имеет сравнительную легкость в сборке, обладают высокой степенью огнестойкости, что позволяет использовать их в строительстве многих социально значимых объектов: больниц, домов престарелых, детских домов к которым предъявляются повышенные требования. Важно помнить, что пожарная безопасность любого строения в целом обеспечивается рядом мероприятий, таких как противопожарная защита, соблюдение правил эксплуатации электрических устройств, противопожарные требования к обогревателям, устройству печей, каминов, соблюдение противопожарных требований к зданию в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грошев, А.Д. Экспертиза пожарной безопасности зданий и сооружений / Грошев А.Д., Грошев М.Д., Скляров К.А., Грошев А.А. / Учебно-методическое пособие. Воронеж. гос. арх.-строит. ун - т. – Воронеж - 2014.
2. Сушко, Е.А. Имитационное моделирование динамики опасных факторов пожара на основе интегральной и полевой математических моделей пожара / Сушко Е.А., Щербакова К.С., Атапин Н.И. / Инженерные системы и сооружения. Научный журнал. Воронеж, Бизнес-Полиграфия. - 2013. - № 1(10) – С. 93-101.
3. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
4. Суконникова, И.А. Анализ математических моделей, описывающих динамику опасных факторов пожара, и программных продуктов, реализующих расчет и визуализацию моделируемого процесса / Суконникова И.А., Сушко Е.А., Баранкевич Р.В., Пожидаева А.Е. / Инженерные системы и сооружения. Научный журнал. Воронеж. гос. арх.- строит. ун - т. – Воронеж - 2012. – № 4 (9) - С. 83-93.
5. Скляров, К.А. Влияние перегородок на пожарную и промышленную безопасность объекта / Скляров К.А., Петрова О.Н., Сушко Е.А., Колодяжный С.А./ Инженерные системы и сооружения. Научный журнал. Воронеж. гос. арх.- строит. ун - т. – Воронеж - 2010. – № 1 - С. 192-197.

ANALYSIS OF THE FIRE HAZARD OF BUILDINGS FROM SIP PANELS

E. A. Sushko, V. N. Durukin

Sushko Elena Anatolievna, Voronezh state technical University, candidat of technical sciences, head. the Department of fire and industrial safety, e-mail: u00075@vgasu.vrn.ru.

Durukin Vyacheslav Nikolaevich, Voronezh state technical University, postgraduate student of fire and industrial safety department, e-mail: e995@mail.ru.

ABSTRACT

An analysis of the use of structural insulated panels in the construction of buildings and constructions of various functional values, their impact on the environment, ease in the Assembly, examines the degree of fire resistance. It is concluded that the structure of SIP – panels can be used in the construction of socially significant objects. Discusses ways to further improve the structure of SIP – panels and their application.

Keywords: the construction, fire safety, building materials, structural insulated panels.

REFERENCES

1. Groshev, A.D. Examination of fire safety of buildings and structures / Groshev AD, Groshev MD, Sklyarov KA, Groshev AA Teaching aid. Voronezh. State. Arch.- builds. Univ - t. - Voronezh - 2014.
2. Sushko, E.A. Simulation modeling of dynamics of dangerous fire factors on the basis of integral and field mathematical models of a fire / Sushko EA, Shcherbakova KS, Atapin NI / Engineering systems and structures. Science Magazine. Voronezh, Business-Polygraphy. - 2013. - No. 1 (10). - pp. 93-101.
3. Federal Law of July 22, 2008 N 123-FZ "Technical Regulations on Fire Safety Requirements".
4. Sukonnikova, I.A. Analysis of mathematical models describing the dynamics of dangerous fire factors and software products realizing the calculation and visualization of the simulated process / Sukonnikova IA, Sushko EA, Barankevich RV, Pozhidaeva A.E. / Engineering systems and structures. Science Magazine. Voronezh. State. Arch.- builds. Univ. - Voronezh - 2012. - № 4 (9) -pp. 83-93
5. Sklyarov, K.A. Influence of partitions on the fire and industrial safety of the facility / Sklyarov KA, Petrova ON, Sushko EA, Kolodyazhny SA / Engineering systems and structures. Science Magazine. Voronezh. State. Arch.- builds. Univ - t. - Voronezh - 2010. - № 1 - PP. 192-197.

УДК 504.064.47

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ

В. Я. Манохин, М. В. Манохин, В. А. Попов

Манохин Вячеслав Яковлевич, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: manohinprof@mail.ru.

Манохин Максим Вячеславович, Воронежский государственный технический университет, ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: fellfrostqtw@gmail.com.

Попов Валерий Александрович, Воронежский государственный технический университет, к. т. н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности.

Рассмотрены причины низкого уровня использования отходов и результаты попыток формирования систем переработки крупногабаритных отходов; сделан анализ проблем маргинального населения в свете решения задач сбора перевозки и утилизации отходов; произведен анализ динамики изменения численности населения г. Воронежа; осуществлен прогноз динамики образования крупногабаритных отходов на период до 2020 г. в Воронеже представлена схема современного управления санитарной отчисткой от ТБО г. Воронежа; выполнен расчет себестоимости сбора и транспортировки твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, крупногабаритные отходы, массовые маргинальные группы, управление санитарной отчисткой, себестоимость сбора и транспортировка твёрдых бытовых отходов.

Введение. Исследования проблемы управления отходами в Российской Федерации и за рубежом свидетельствуют о необходимости усиления государственного регулирования в области сбора, переработки и хозяйственного использования отходов в России с учетом рыночной направленности проводимых Правительством Российской Федерации реформ хозяйственного механизма, положений концепции устойчивого развития. Последние 10 лет снижалась роль государства в организации сбора и переработки отходов. С 1991 года ликвидирована государственная система вторичных ресурсов, функционировавшая под эгидой Госснаба СССР. С 1996 года отменена статистическая статотчетность по формам 14-ВР (вторичные ресурсы), 14-лес (древесные "" отходы, 9-СН (лом черных металлов), 17-СН (лом цветных металлов).

Как указывалось, образование отходов в экономике России составляет 3,4 млрд. тонн в год. В том числе 2,6 млрд. т/год - промышленные отходы, 700 млн. тонн/год — жидкие отходы птицеводства и животноводства. Средний уровень их использования составляет около 26 %, в том числе промотходы перерабатываются на 35 %, ТБО - на 3-4 %, остальные отходы практически не перерабатываются.

В результате низкого уровня использования продолжается накопление отходов в окружающей природной среде. Согласно оценкам НИЦПУРО объемы накопления неиспользуемых отходов достигли 80—90 млрд. тонн.

В итоге воздействие мест накопления и захоронения отходов на окружающую среду часто превышает установленные ПДК. Имеется немало примеров, когда такое превышение составляет десятки и сотни раз.

Проблема обращения с ТБО является актуальной не только для мирового сообщества, но и для России несмотря на то, что острота ее завуалирована тем, что в отличие от европейских стран Россия имеет значительные площади для захоронения отходов.

Образование отходов в экономике России составляет 3,4 млрд. т в год, в том числе 40 млн. т в год ТБО и 30 млн.т. год осадков очистных сооружений, при этом только около 3,5% ТБО перерабатывается.

Одной из причин низкого уровня использования отходов является незначительная рентабельность процесса сбора и

© Манохин В. Я., Манохин М. В., Попов В. А., 2017

существующих технологий переработки. Отсутствует также государственное регулирование в системе обращения с отходами, нет эффективных экономических условий, не индексируется плата за размещение отходов, не налажен механизм привлечения инвестиций в создание производств по переработке отходов, неэффективно внедряется передовой опыт в обращении с отходами, отсутствует эффективный механизм управления в этой области.

На полигоны России свозится 98% ТБО. В Европейских странах внедрена сортировка отходов на мусороперерабатывающих заводах с коэффициентом извлечения полезного сырья до 17%. Нельзя сказать, что наша Воронежская администрация устранилась от этой проблемы. Подготовлен и утвержден третий вариант генеральные схемы очистки городских ТБО, ранее состоялся конкурс проектов мусороперерабатывающих заводов, сдан в эксплуатацию новый полигон, начал функционировать второй полигон (Поэтро-Полигон) в Новоусманском районе. К этой работе подключается фирма Каскад, но проблемы остаются. Нет мусоросортировки, нет извлечения полезного сырья, Поэтро - Полигон до конца не оборудован.

Индивидуальный жилищный фонд и коммерческие организации с системой сброса охвачены не полностью:

- остается проблема крупногабаритных отходов ;

- необходима закупка оборудования и контейнеров, транспорта, механизмов для санации контейнеров и спецмашин;

- не определены технологии переработки ТБО;

-необходимо менять нормы;

- более 50 организаций сейчас занимаются отходами, им нужна оптимальная система менеджмента;

- нет селективного сбора

- накапливаются также высокотоксичные отходы, в т.ч. медицинские.

Увеличение численности занятого населения в системе обращения с отходами в части сбора ТБО в России может решить проблему маргинального населения (продолжается расширенное воспроизводство массовых маргинальных групп). С Существенными факторами в этом вопросе являются психологические и аксиологические причины попадания на «социальное дно» общества.

Специальное социально-экономическое исследование проблемы «социального дна» в России, проведенное ИСЭПН РАН в 2004 году в шести крупных городах России: Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Красноярске, Воронеже, Екатеринбурге, позволяет выделить четыре группы людей, составляющих «социальное дно»: 1. Нищие, открыто просящие подаяние (3,4 млн. человек); 2. «бомжи», лишившиеся своего жилья прежде всего вследствие возникновения рынка жилья (3,3 млн. чел.); 3. Беспризорные дети, которые либо потеряли родителей, либо убежали из дома (2,8 млн. чел.); 4. Уличные проститутки (включая детей), ведущие асоциальный образ жизни (1,3 млн. чел.). Среди обитателей «социального дна» две трети – мужчины и одна треть – женщины. «Дно» в России молодо: средний возраст нищих и бомжей приближается к 45 годам, у беспризорников он равен 13 годам, у проституток – 28. Минимальный возраст нищих – 12 лет, а проституток – 14 лет; беспризорничать же начинают уже с 6 лет. Большинство нищих и бомжей имеют среднее и среднее специальное образование, а 6% нищих, бомжей и проституток – даже высшее.

По данным [1, 2] при незначительном росте численности населения МО г. Воронеж имеет место значительное увеличение объемов захоронения ТБО (рис. 1, рис 2).

Анализ динамики изменения численности населения городского округа город Воронеж (рис.1) показывает, что начиная с 2001 года, численность населения уменьшается и за последние пять лет находится на уровне чуть более 920 тыс. человек. Таким образом, естественная убыль населения превышает рождаемость.

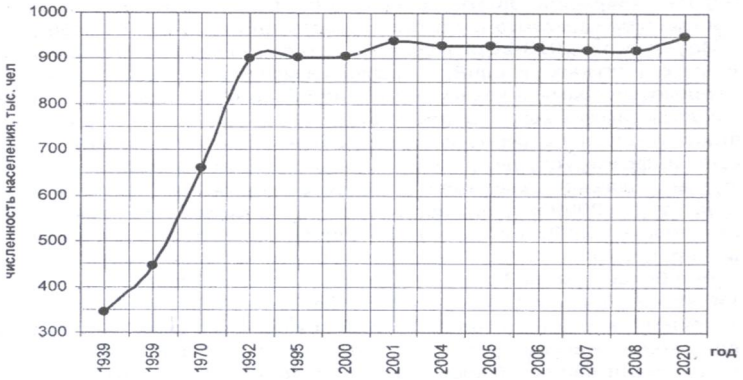


Рис. 1. Динамика изменения численности населения городского округа город Воронеж

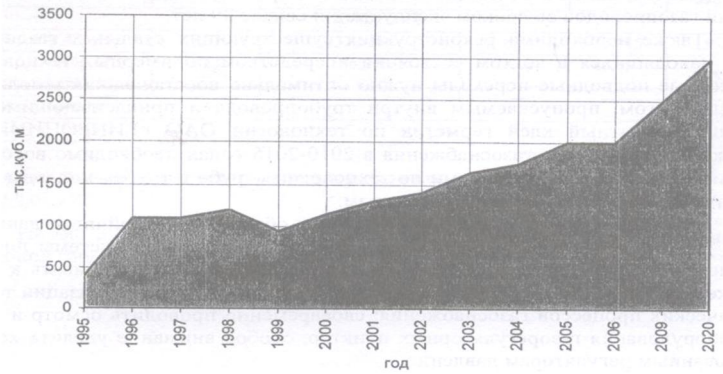


Рис.2. Количество отходов, вывозимых на полигоны ТБО

Учитывая тенденции ежегодного увеличения норм накопления ТБО в среднем на 2,65%, можно предположить, что к 2020 г. объем отходов, вывозимых на полигоны ТБО, составит 3 млн. $м^3$ в год (рис. 2).

В период с 2010 по 2020 год из Воронежа предстоит вывезти и обезвредить 27700 тыс. $м^3$ ТБО, в том числе 2500 тыс. $м^3$ крупногабаритных отходов.

По данным ЗАО «Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Панфилова» в России имеет место тенденции ежегодного увеличения норм накопления ТБО в среднем на 2,65%, однако фактические данные показывают превышение этих «норм». В значительной степени это связано с ростом объема упаковки товаров. В настоящее время существуют представленные ниже схемы управления отходами (рис. 3).

Плата за размещения отходов существенным образом зависит от затрат на транспортировку ТБО.

Тарифы на вывоз ТБО устанавливаются в зависимости от расстояния до места их обезвреживания(на 1 $м^3$ бытовых отходов).

В качестве исходной базы для определения тарифов принимаются нормативные себестоимость работ и прибыль. Нормативная себестоимость считается отдельно по следующим операциям:

- сбор и выгрузка бытовых отходов;
- транспортировка бытовых отходов до мест обезвреживания;
- заезды в домовладения при сборе бытовых отходов;
- нулевые пробеги.

Расчет себестоимости сбора, транспортировки и выгрузки отходов был выполнен в соответствии с «Методикой расчета тарифов на вывоз твердых бытовых отходов из домовладений города», утвержденной Академией коммунального хозяйства им. К.Д. Панфилова и «Нормами расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», (Руководящий документ Р 3112194-0366-03).

В данной работе для расчета были проанализированы следующие транспортные средства:

• Бункеровоз на шасси ЗИЛ 433362, КО 440 ЗИЛ 433362 , КО-413 ЗИЛ 431412 , КО-415 КАМАЗ 53253

• КО429-05 МАЗ 5337 , КО-449-31 МАЗ-5337.

Рис. 3. Схема современного управления санитарной очисткой от ТБО г. Воронежа

В себестоимость сбора – выгрузки также включается стоимость приема бытовых отходов в местах их обезвреживания. По статье «Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих» учитывается заработная плата водителей и грузчиков за сбор и выгрузку бытовых отходов с отчислениями на социальное страхование. Затраты по этой статье на один рейс определяются по формуле (1):

$$ЗПр = ЗПчас \times Тпв, \quad (1)$$

где: ЗПр - заработная плата производственных рабочих за сбор - выгрузку отходов за рейс;

ЗПчас - часовой фонд основной и дополнительной заработной платы с начислениями;

Тпв - время погрузки и выгрузки отходов. Заработная плата основных рабочих:

ЗПр = 74,95 х 3,00 = 224,85 р. Заработная плата вспомогательных рабочих:

Зпр = 52,78 × 3,00 = 158,34 р.

По статье «Амортизация» расходы на сбор и выгрузку бытовых отходов в расчете на один рейс определяются исходя из балансовой стоимости машин и оборудования, действующих норм амортизационных отчислений, годового баланса рабочего времени и нормативного времени на сбор и выгрузку отходов в течение одного рейса:

$$Ар = \frac{Б \cdot На}{Тгод} \cdot Тпв, \quad (2)$$

где: Ар - амортизация за время сбора - выгрузки за один рейс; Б - балансовая стоимость спецмашины;

На - норма амортизационных отчислений;

Тгод - годовой баланс рабочего времени;

Тпв - время погрузки и выгрузки отходов. Амортизация:

Ар = 1 350 000 х 11,1% / 4380 х 3 = 102,64 р.

Расходы по статье «Горюче-смазочные материалы» на сбор и выгрузку отходов за один рейс включают в себя расходы на топливо и смазочные материалы на погрузку и выгрузку одной машины и расходы на внутригаражные нужды.

Расход топлива на внутригаражные нужды определяется в процентах от расхода топлива. Нормы расхода смазочных материалов установлены в литрах (килограммах) на 100 л жидкого топлива.

С учетом этого стоимость смазочных материалов на сбор - выгрузку отходов определяется исходя из норм расхода топлива на сбор и выгрузку на один рейс и действующих цен за 1 кг смазочных материалов:

$$С_т^р = Р_т^р \cdot Ц_т, \quad (3)$$

$$С_{см}^р = Р_{см}^р \cdot Ц_{см}, \quad (4)$$

где: $С_т^р$, $С_{см}^р$ - стоимость топлива, смазочных материалов на сбор – выгрузку отходов за один рейс;

$Р_т^р$, $Р_{см}^р$ - расход топлива, смазочных материалов на сбор - выгрузку отходов за один рейс;

$Ц_т$, $Ц_{см}$ - цена 1 л (1 кг) топлива, смазочных материалов.

Стоимость топлива:

$С_т^р = 13{,}5 \times 27{,}5 = 371{,}25$р.

Стоимость смазочных материалов:

$С_{см}^р = 0{,}8 \times 75{,}00 = 60{,}00$р.

Накладные расходы определяются в процентах к основной заработной плате производственных рабочих - 60%.

Суммарная нормативная себестоимость сбора отходов за один рейс пересчитывается на принятую единицу измерения – 1 куб.м отходов:

$$С_{пв}1куб.м = \frac{ЗП_р + А_р + С_т^р + С_{см}^р + НР_р}{О_р}, \quad (5)$$

где: $С_{пв}$ 1 куб. м - стоимость погрузки и выгрузки 1 куб. м отходов;

$ЗП_р$ - заработная плата производственных рабочих на сбор - выгрузку отходов за один рейс;

$А_р$ - амортизация за время сбора - выгрузки за один рейс;

$С_т^р$, $С_{см}^р$ - стоимость топлива, смазочных материалов на сбор - выгрузку отходов за один рейс;

$НР_р$ - накладные расходы на сбор - выгрузку на один рейс (60%);

$О_р$ - объем вывоза отходов одной спецмашиной за один рейс.

Стоимость сбора отходов на 1 машину:

Спв = 224,85 + 158,34 + 102,64 + 205,20 + 36,00 + 229,91 = 956,94 руб.

Стоимость сбора отходов на 1 м^3:

Спв 1 куб. м = 956,94 / 33 = 29,00 руб.

Кроме того необходим учет нормативных транспортных расходов с учетом затрат на нулевые пробеги, затрат заездов в домовладение при сбросе отходов и стоимости извлеченного сырья.

Расчет себестоимости транспортных операций производится в расчете на 1 км пробега по следующим статьям затрат:

- основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих с начислениями;
- амортизация;
- горюче - смазочные материалы;
- техническое обслуживание и ремонт (80% основная заработная плата);
- накладные расходы (60% основная заработная плата).

Стоимость вывоза мусора из г. Воронежа в год составит.:

3 000 000 · 73,58 = 220 740 000 р. (без НДС) .

3 000 000 · 86,82 = 260 460 000 р. (без НДС) .

Выводы. Причинами низкого уровня использования отходов являются отсутствие современного транспорта, контейнеров, механизмов для санации контейнеров и спецмашин; неопределенны технологии переработки ТБО; устарели нормы переработки отходов; нет оптимальной системы управления отходами; нет селективного сбора; накапливаются высокотоксичные отходы.

Установлено, что в период с 2010 по 2020 год из Воронежа предстоит вывезти и обезвредить 27700 тыс. м^3 ТБО, в том числе 2500 тыс. м^3 крупногабаритных отходов.

Анализ динамики изменения численности населения городского округа город Воронеж показывает, что начиная с 2001 года, численность населения уменьшается и за последние пять лет находится на уровне чуть более 920 тыс. человек. Таким образом, естественная убыль населения превышает рождаемость.

В настоящее время действуют неоптимальные схемы управления отходами.

С учетом результатов расчета себестоимости мусора установлено, что только лишь стоимость вывоза мусора из города Воронежа

ежегодно составит около четверти миллиарда рублей.

Новизна данной разработки заключается в следующем: впервые установлено, чтона накопление отходов в г. Воронеже влияет не рост численности населения, а увеличение объёма крупногабаритных отходов, упаковки продуктов и промтоваров (картон, бумага, плёнка, пластик).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манохин В.Я. Пути решения проблемы обращения с ТБО / В.Я. Манохин, М.В. Манохин, И.А. Иванова // актуальные вопросы по экологии: материалы VIII Межрегиональной научно-практической конференции. - г. Воронеж, 2012. – С.191-194.
2. Манохин В.Я. Основные проблемы ТБО городского округа г. Воронеж / И.А. Иванова, В.Я. Манохин, А.Н. Шестаков // Экология и рациональное природопользование. Материалы Межрегиональной научно-практической конференции. – Воронеж, 2011. – С.76-84.

MAIN PROBLEMS WITH SOLID WASTE

V. Y. Manohin, M. V. Manokhin, V. A. Popov

Manokhin Vyacheslav Yakovlevich, Voronezh State Technical University, doctor of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: manohinprof@mail.ru.
Manokhin Maxim Vyacheslavovich, Voronezh State Technical University, assistant of fire and industrial safety department; e-mail: fellfrostqtw@gmail.com.
Popov Valery Aleksandrovich, Voronezh State Technical University, candidat of technical sciences, docent of Fire and Industrial safety department.

ABSTRACT

The reasons for the low level of waste use and the results of attempts to form large-scale waste processing systems are considered. The analysis of problems of marginal population in the light of the decision of tasks of gathering of transportation and waste utilization is made. Analysis of the dynamics of population change in the city of Voronezh are presented. The forecast of the dynamics of the formation of large-sized wastes for the period up to 2020 is presented in Voronezh. The scheme of the modern management of sanitary cleaning from solid domestic waste in Voronezh is presented; The calculation of the cost of collection and transportation of solid domestic waste is made.

Keywords: solid household waste, large-scale waste, massive marginal groups, management of sanitary clearance, cost of collection and transportation of solid domestic waste.

REFERENCES

1 Manokhin V.I. Ways to solve the problem of handling solid waste / V.I. Manokhin, M.V. Manokhin, I.A. Ivanova // topical issues on ecology: materials of the VIII Interregional Scientific and Practical Conference. - Voronezh, 2012. - P.191-194.
2 Manokhin V.Ya. The main problems of municipal solid waste in Voronezh city / I.A. Ivanova, V.Ya. Manokhin, A.N. Shestakov // Ecology and Rational Nature Management. Materials of the Interregional Scientific and Practical Conference. - Voronezh, 2011. - P.76-84.

УДК 504.3.054

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАССЕИВАНИЯ ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРИМЕСЕЙ

В. Я. Манохин, И. А. Иванова, С. А. Сазонова

Манохин Вячеслав Яковлевич, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: manohinprof@mail.ru.

Иванова Ирина Александровна, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: ivanova-eco@mail.ru

Сазонова Светлана Анатольевна, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru.

В работе описывается разработка моделей рассеивания нагретых выбросов загрязняющих веществ, рассматриваются струйные течения в слое атмосферы близком к приземному. Произведена оценка максимальных приземных концентраций вредных веществ, в частности, пыли. Значения скоростей сносящего поток газа ветра определялись на срезе трубы (геометрическая высота), целесообразность разработки данной модели обусловлено неоднозначностью использования стандартной математической модели ОНД-86 для выбросов АБЗ. Альтернативной методикой расчета является модель на основе теории Рейхарда. Сравнение результатов, полученных по предлагаемой методике, с расчетами по ОНД-86 и показаниями эксперимента показали удовлетворительную сходимость.

Ключевые слова: параметры рассеивания, пыль, максимальная приземная концентрация, теория Рейхарда, выбросы.

Введение. Опасная для организма человека пыль с размером частиц менее 10 мкм улавливается только мокрыми аппаратами и тканевыми фильтрами.

Анализ пыли, уловленной в дымовой трубе (после «мокрой» ступени) показывает высокое содержание частиц диаметром $d_{усл}$<10 мкм так называемой «легочной» гидрофобной пыли. Значительная доля загрязняющих веществ, в том числе и пыли, не улавливается очистными установками; в связи с этим целесообразна разработка точных математических моделей по рассеиванию загрязняющих веществ.

Разработке моделей рассеивания выбросов посвящены работы Абрамовича Г.Н. [1, 2, 3, 4], Бай-Ши-И [5], Банита Ф.Г. [6], Бурминского Э.П.[7], Берлянда М.Е. [8], Марчука [9].

Главной геофизической лабораторией им.Воейкова рекомендован расчет струйных моделей распространения загрязняющих выбросов в приземном слое атмосферы по методике, изложенной в ОНД-86 [10].

Определим максимальное значение приземной концентрации вредных веществ по зависимости (1).

$$C_m = \frac{A \cdot F \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \qquad (1)$$

где A – коэффициент температурной стратификации атмосферы в районе размещения предприятия, $с^{2/3}$*мг*$град^{1/3}$/г;

M – количество выбросов, г/с;

H - высота источника над уровнем земли, м;

ΔT – разность температур между температурой выброса и окружающего воздуха, ºС;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в воздухе, для пыли F=3;

m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газо-воздушной смеси из устья выброса, определяются в зависимости от параметров f, V_m, по формулам:

$$V_m = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}} \qquad (2)$$

при f<100

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1 \cdot \sqrt{f} + \sqrt[3]{f}} \qquad (3)$$

© Манохин В. Я., Иванова И. А., Сазонова С. А., 2017

при 0,5<V_m<2

$$n = 0.532 \cdot V_m^2 - 2.13 \cdot V_m + 3.13 \quad (4)$$

η - коэффициент, учитывающий рельеф местности, если местность равнинная, η=1.

Определим расстояние на котором достигается максимальная концентрация.

$$X_{\max} = \frac{(5-F)}{4} \cdot d \cdot H \quad (5)$$

где d – безразмерный коэффициент, определяем по формуле:
при f<100 и 0,5<V_m<2

$$d = 4.95 \cdot V_m \cdot (1 + 0.28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad (6)$$

Значение опасной скорости ветра, U_m определяется на уровне флюгера, при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ, определяется по формулам в зависимости от f, V_m.

Если f<100 и 0,5<V_m<2 то U_m= V

Максимальная величина приземной концентрации вредного вещества при неблагоприятных метеоусловиях и скорости ветра u м/с отличающейся от опасной скорости должна определятся по формуле:

$$C_{mu} = r \cdot c_m \quad (7)$$

где r – безразмерная величина, определяемая по формуле:

$$r = \frac{3 \cdot \frac{u}{u_m}}{2 \cdot \left(\frac{u}{u_m}\right)^2 - \left(\frac{u}{u_m}\right) + 2} \quad (8)$$

Расстояние от источника выброса, на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеоусловиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения определяется по формуле:

$$X_{mu} = p \cdot x_m \quad (9)$$

где p – безразмерная величина, определяемая по формуле:

$$p = 0.32 \cdot \left(\frac{u}{u_n}\right) + 0.68 \quad (10)$$

Альтернативной методикой расчета является модель на основе теории Рейхарда, предлагаемая в данной работе - струйная модель рассеивания выброса для одиночной вытяжной трубы в приземном слое (пространственная задача) [11].

Целесообразность разработки этой модели определяется неоднозначностью использования стандартной математической модели ОНД-86 для выбросов АБЗ. Неоднозначность задачи обусловлена относительно низкой геометрической высотой выбросов (0-50 метров), значительным диапазоном дисперсности выбрасываемых в атмосферу твердых частиц, наличием мокрой доочистки выбросов [12].

Принцип построения линий (эпюр) равных концентраций. В соответствии с [13] внешней границей СЗЗ является линия равных концентраций, за которой общая концентрация примесей не превышает максимально разовую ПДК.

Теоретический и практический интерес представляет построение линий равных концентраций примесей для выбросов, распространяющихся из одиночного источника в фактической санитарно-защитной зоне (СЗЗ).

Формулы из расчета приземных концентраций можно представить в следующем безразмерном виде:

$$\frac{C_y}{C} = S_2 = \frac{1}{(1 + 8.4 \cdot Z) \cdot (1 + 28.2 \cdot Z^2)} \quad (11)$$

где введены обозначения:

$$Z = U \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}}\right)^2 \quad (12)$$

$$\frac{C_y}{C_{mu}} = S_1 \cdot S_2 = B \quad (13)$$

Линиям равной концентрации C_Y=C_{const} будут соответствовать постоянные значения параметра B. Его физический смысл простой – это доля концентраций примеси в данной точке от максимальной C_{mu}. Очевидно $0 \le B \le 1$.

Отметим, что, так как существует на оси факела максимальная приземная концентрация C_{mu} в точке с координатами $\bar{x} = 1 \quad \bar{y} = 0$ (B=1), то вне этой точки B<1. Отсюда понятно, что изоконы представляют собой замкнутые линии с центром в $\bar{x} = 1 \quad \bar{y} = 0$.

Решение уравнения можно найти итерационным методом Ньютона как предел числовой последовательности

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \quad (14)$$

где k=0, 1, 2...

$$f(x) = 3 \cdot x^4 - 8 \cdot x^3 + 6 \cdot x^2 - B \quad (15)$$

$$f'(x) = 12 \cdot x \cdot (x-1)^2 \quad (16)$$

Так как изоконы – замкнутые линии то для всех точек, лежащих на изоконах должно выполнятся соотношение:

$$\bar{x}_1 \le \bar{x} \le \bar{x}_2 \quad (17)$$

Распределение скорости в поперечных сечениях основного участка турбулентной струи можно также записать в виде экспоненты:

$$U = U_x \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{cx}\right)^2} \quad (18)$$

где U_x - скорость на оси струи в сечении, расположенном на расстоянии x от полюса.

Без большой погрешности можно положить плотность воздуха на основном участке струи ρ совпадающей с плотностью окружающей среды ρ_∞ ; $\rho \cong \rho_\infty$

Для изотермической струи ($\theta = 1$) при равномерном распределении скорости на выходе из приточного отверстия ($\varphi = 1$) m=6.88.

Под U_0 понимается средняя квадратическая скорость в начальном сечении:

$$U_0 = \frac{J_0}{M_0} = \frac{\int_0^{F_0} \rho \cdot U^2 \cdot dF}{\int_0^{F_0} \rho \cdot U \cdot dF} \quad (19)$$

Для изотермической струи ($\theta = 1$) при равномерном распределении скоростей на выходе из приточного отверстия ($\varphi = 1$) n=6.2.

Далее воспользуемся идеей Скорера о возможности нахождения поля скоростей и концентраций одиночной струи, настилающейся над горизонтальной плоскостью на высоте H, как образованного двумя одинаковыми, расположенными симметрично относительно плоскости земли, струйными источниками.

Тогда задача о распространении примесей из дымовой трубы высотой H может быть сведена к нахождению поля концентрации от двух симметричных относительно поверхности земли струйных источников с использованием развитого принципа суперпозиции.

Считая, что струи не стесняют друг друга, а индуцируют поле скоростей такое же, как в свободных струях, и учитывая, что импульсы их складываются: $J_1 + J_2 = 2J_0$.

Сравнение результатов, полученных по предлагаемой методике, с расчетами по ОНД-86 и показаниями эксперимента представлено в таблице.

Результаты определения $C_м$ и $x_м$

По предлагаемой методике		По ОНД-86		Эксперимент	
$C_м$, мг/м^3	$x_м$, м	$C_м$, мг/м^3	$x_м$, м	$C_м$, мг/м^3	$x_м$, м
146	158,6	32,2	48,5	127-151	118-147

Предлагаемая модель лучше сходится с экспериментальными данными, но обе модели не учитывают начальный подъем струи над геометрической высотой трубы.

Выводы. На основе теории Рейхарда и при использовании принципа суперпозиции была разработана оригинальная модель рассевания выбросов в атмосферу.

Сравнение результатов, полученных по предлагаемой методике с расчетами по ОНД-86 и с экспериментальными данными показали значительные расхождения.

Данные предлагаемой методике удовлетворительно согласуются с результатами эксперимента в части оценки максимальных приземных концентраций и расстояний до них от факельного источника выброса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г.Н., Смирнова Н.Л., Яковлевский О.В. О распространении турбулентной струи в ограниченном пространстве. Сб.Трудов ЛМИ. – М.: №17, 1961. – С.31-37.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1969. – 824с.
3. Абрамович Г.Н. Яковлевский О.В. и др. Исследование начального участка турбулентных струй различных газов в спутном потоке воздуха. Изв. АН СССР. – М.: «Механика жидкости и газа», №6,

© Манохин В. Я., Иванова И. А., Сазонова С. А., 2017

1966.
4. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. – М.: ФМЛ, 1984. – 816с.
5. Бай-Ши-И. Теория струй. – М.: ГИФМЛ, 1960г.
6. Банит Ф.Г., Мальгин А.Д. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1979. – 351 с.
7. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометиздат, 1985.-340с.
8. Бурминский Э.П. Экспериментальной исследование турбулентной струи сложного профиля: канд.техн.наук. Каз.НИИ. – Ленинград: Алма-Ата. 1971. – 182с.
9. Марчук Л. Учет экологических показателей при решении хозяйственных задач // Экон.науки. – 1983. - №2.
10. Манохин В.Я., Иванова И.А.Разработка методов повышения промышленной безопасности технологических процессов в смесителях асфальтобетонных заводов // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. Выпуск №3 (11), 2008
11. Манохин В.Я., Колодяжный С.А., Иванова И.А. Анализ критериев экологической опасности на асфальтобетонных заводах // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. - Выпуск №3(15)

DEVELOPMENT OF METHODS FOR DETERMINING PARAMETERS OF DIFFUSION OF SOLID ATMOSPHERIC IMPURITIES

V. Y. Manohin, M. V. Manokhin, V. A. Popov

Manokhin Vyacheslav Yakovlevich, Voronezh State Technical University, doctor of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: manohinprof@mail.ru.
Ivanova Irina Aleksandrovna, Voronezh State Technical University, candidat of technical sciences, docent of Fire and Industrial safety department, e-mail: ivanova-eco@mail.ru
Sazonova Svetlana Anatol'evna, Voronezh State Technical University, candidate of technical sciences, docent of fire and industrial safety department, e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru.

ABSTRACT

The paper describes the development of models for dissipating heated emissions of pollutants, consider jet flows in the atmosphere layer close to the surface. The maximum surface concentrations of harmful substances, in particular dust, have been estimated. The values of the velocities of the wind-blowing gas were determined at the pipe cut (geometric height), the expediency of developing this model is due to the ambiguous use of the standard mathematical model of OND-86 for emissions of ABZ. An alternative method of calculation is a model based on Reichard's theory. Comparison of the results obtained with the proposed method with the calculations for OND-86 and the testimony of the experiment showed satisfactory convergence.
Keywords: scattering parameters, dust, maximum surface concentration, Reichard theory, emissions.

REFERENCES

1. Abramovich GN, Smirnova NL, Yakovlevsky OV On the propagation of a turbulent jet in a confined space. Sb.Trudov LMI. - M .: No. 17, 1961. - P.31-37.
2. Abramovich GN Applied gas dynamics. - Moscow: Nauka, 1969. - 824p.
3. Abramovich G.N. Yakovlevsky OV Et al. Investigation of the initial section of turbulent jets of various gases in a spiral air flow. Izv. Academy of Sciences of the USSR. - Moscow: "Mechanics of Fluids and Gas", No. 6, 1966.
4. Abramovich G.N. Theory of turbulent jets. - Moscow: FML, 1984. - 816s.
5. Bai-Shi-I. Theory of jets. - Moscow: GIFML, 1960.
6. Banit FG, Malgin AD Dust removal and purification of gases in the building materials industry. - Moscow: Stroiizdat, 1979. - 351 p.
7. Berlyand M.E. Forecast and regulation of atmospheric pollution. - L .: Hydrometizdat, 1985.-340s.
8. Burminsky E.P. Experimental study of a turbulent jet of a complex profile: Cand.Tech.Sci. Kaz.NII. - Leningrad: Alma-Ata. 1971. - 182c.
9. Marchuk L. Accounting for environmental indicators in solving economic problems / / Econ.nauk. - 1983. - №2.
10. Manokhin V.Ya., Ivanova IADevelopment of methods of increasing industrial safety of technological processes in mixers of asphalt-concrete plants // Scientific Herald of Voronezh State Architectural and Construction University. Construction and architecture. Issue №3 (11), 2008
11. Manokhin V.Ya., Kolodyazhny SA, Ivanova I.A. The analysis of criteria of ecological danger on asphalt-concrete plants // Scientific Herald of the Voronezh State Architectural and Construction University. Construction and architecture. - 2009. - Issue No. 3 (15)

УДК 536.253

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРА

В. Л. Мурзинов

Мурзинов Валерий Леонидович, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

Показана важность задачи моделирования температурных процессов в газовой среде на начальной стадии пожара. Рассмотрена задача построения соотношения, связывающего температуру в помещении в начальной стадии пожара с временными и теплофизическими параметрами в условиях свободной конвекции. Эффективность полученного решения была проверена на экспериментальной установке. Показана возможность прогнозирования времени достижения критического значения температуры в помещении в начальной стадии пожара.

Ключевые слова: пожар, конвективный теплообмен, свободная конвекция, моделирование, теплофизические параметры, критическая температура.

Введение. В настоящее время к зданиям и сооружениям предъявляются повышенные требования пожарной безопасности. Время достижения критической температуры, обеспечивающей безопасную эвакуацию людей при возникновении пожара, является важнейшим элементом обеспечения пожарной безопасности. В строительной индустрии на основе современных расчетных методов активно развивается функционально ориентированное нормирование, позволяющее проектировать и строить более сложные и совершенные здания с большей степенью надежности и безопасности, более четко определять время достижения критических значений опасных факторов. Функционально ориентированное противопожарное нормирование может использовать математическое моделирование состояний воздушной или газовой среды в зданиях и его инженерных систем с находящимися в нем людьми. Несмотря на значительное количество теоретических и экспериментальных работ, закономерности воздействия на людей опасных факторов в начальной стадии пожара нельзя считать изученными. Благодаря более углубленному изучению процесса возникновения пожара, математическое моделирование опасных факторов пожара на основе решения уравнений газовой динамики получает все более широкое развитие, однако эту задачу нельзя считать полностью решенной.

Постановка задачи и моделирование температурного поля в помещении. Моделирование тепловых процессов в начальной стадии пожара в негерметичных помещениях при наличии аэрационных фонарей может основываться на теории конвективного теплообмена и газовой динамики. Учёт наличия открытого пламени при моделировании теплового режима пожара позволяет делать некоторые обобщения и допущения, опирающиеся на картину физического процесса. С позиции математического моделирования можно несколько упростить физическую картину, отбросив второстепенные факты, практически не оказывающие влияние на динамику теплового процесса [1].

Рассмотрим стандартное производственное помещение, снабженное аэрационными фонарями для естественной вентиляции. Предположительно, что процесс возгорания расположен в центре помещения.

Можно принять следующие допущения. Объем поступающего воздуха в помещение в единицу времени равен объему уходящего воздуха через аэрационные фонари. Тепловой поток от источника нагревает воздух за счет конвективного теплообмена и лучистого теплообмена, который нагревает ограждения (стены, потолок, пол) и передает тепловую

© Мурзинов В. Л., 2017

энергию воздуху за счет процесса теплоотдачи [2, 3]. Тепловая энергия от источника равномерно распределяется по всему объему помещения. Движущей силой для перемещения воздушных масс является сила Архимеда, образованная изменяющейся плотностью газовой среды под действием теплового напора.

Запишем систему уравнений, описывающих движение воздуха при наличии теплового источника и свободной конвекции

$$\frac{Dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \frac{Q}{\rho C_p}, \quad (1)$$

$$\frac{d\overline{V}}{d\tau} = \overline{F} - \frac{1}{\rho}\text{grad}\, p + \frac{\mu}{\rho}\nabla^2\overline{V}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial\tau} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0, \quad (3)$$

где (1) – уравнение переноса энергии, уравнение Фурье-Кирхгофа [4]; (2) – уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости, уравнение Навье-Стокса [5]; (3) – уравнение неразрывности; $\frac{Dt}{d\tau} = \frac{\partial t}{\partial\tau} + u\frac{\partial t}{\partial x} + v\frac{\partial t}{\partial y} + w\frac{\partial t}{\partial z}$ – субстанциальная производная; u, v, w – скорости вдоль соответствующих осей x, y, z, м/с; t – температура, ºС; τ – время, с; $a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$ – коэффициент температуропроводности, м^2/с; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·ºС; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; C_p – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·ºС); $\nabla^2 \ldots = \frac{\partial^2 \ldots}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \ldots}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \ldots}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа, 1/м^2; Q – источник тепловой нагрузки, Вт/м^3; $\overline{V}$ – вектор скорости воздушной среды, м/с; $\frac{d\overline{V}}{d\tau} = \frac{\partial\overline{V}}{\partial\tau} + u\frac{\partial\overline{V}}{\partial x} + v\frac{\partial\overline{V}}{\partial y} + w\frac{\partial\overline{V}}{\partial z}$; $\overline{F}$ – вектор массовых сил, м/с^2; $\text{grad}\, p = \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial z}$ – градиент давления, Па/м; μ – динамическая вязкость воздуха, Н·с/м^2.

С учетом допущений, будет рассматриваться свободная конвекция вдоль вертикальной оси x, поэтому можно положить $v = 0$, $w = 0$, $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$, $\text{grad}p = 0$. Объемная сила $F_y = F_z = 0$, а объемная сила вдоль оси x будет определяться подъемной силой или силой Архимеда

$$F_x = g\beta(t - t_o), \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2; β – коэффициент теплового расширения, 1/ºС; t_o – начальная температура, ºС. Текущее значение плотности определится соотношением

$$\rho = \rho_o(1 - \beta(t - t_o)), \quad (5)$$

где ρ_o – начальное значение плотности, кг/м^3. Тогда система уравнений (1), (2), (3) примет вид

$$\frac{\partial t}{\partial\tau} + u\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\lambda}{\rho C_p}\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{Q}{\rho C_p}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial\tau} = g\beta(t - t_o), \quad (7)$$

$$\frac{\partial t}{\partial\tau} + u\frac{\partial t}{\partial x} = \left[\frac{(1 - \beta(t - t_o))}{\beta}\right]\frac{\partial u}{\partial x}. \quad (8)$$

Система уравнений (6), (7), (8) и дополнений (4), (5) преобразуется в уравнение

$$\frac{\lambda}{\rho C_p}\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - g\tau[(1 - \beta(t - t_o))]\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{Q}{\rho C_p} = 0. \quad (9)$$

В уравнение (9) введем замену, безразмерную температуру

$z = 1 - \beta(t - t_o)$, тогда

$$\frac{\partial t}{\partial x} = -\frac{1}{\beta}\frac{\partial z}{\partial x}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = -\frac{1}{\beta}\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}. \quad (11)$$

Учитывая (10), (11) уравнение (9) будет

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - \frac{\rho C_p g}{\lambda}\tau \cdot z\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{Q\beta}{\lambda} = 0. \quad (12)$$

В уравнении (12) сделаем замена

$$\xi = \frac{x}{h}. \quad (13)$$

тогда уравнение (12) примет вид

$$\frac{\partial^2 z}{\partial \xi^2} - \frac{\rho C_p g h}{\lambda}\tau \cdot z\frac{\partial z}{\partial \xi} - \frac{Q\beta h^2}{\lambda} = 0. \quad (14)$$

Источник тепла Q, входящий в уравнение (14) с учетом допущений будет определяться видом горючего материала, т.е.

$$Q = \frac{\psi_{y\partial} Q_H^p F}{V_\Pi}, \quad (15)$$

где $\psi_{y\partial}$ – удельная скорость выгорания вещества, кг/(м^2·с); Q_H^p – теплотворная способность вещества, Дж/кг; F – площадь поверхности горения, м^2; V_Π – объем помещения, м^3. Уравнение (14) примет окончательный вид

$$\frac{\partial^2 z}{\partial \xi^2} - \frac{\rho C_p g h}{\lambda}\tau \cdot z\frac{\partial z}{\partial \xi} - \frac{\psi_{y\partial} Q_H^p F\beta h^2}{V_\Pi \lambda} = 0, \quad (16)$$

В уравнении (16) сделаем замены

$$x \equiv \xi,\ y = \frac{\tau}{\tau_o},\ \alpha_1 = \frac{\rho C_p g h}{\lambda}\tau_o \text{ и}$$

$$\alpha_2 = \frac{\psi_{y\partial} Q_H^p F\beta h^2}{V_\Pi \lambda}, \quad (17)$$

тогда получим

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - \alpha_1 \cdot y \cdot z \cdot \frac{\partial z}{\partial x} - \alpha_2 = 0, \quad (18)$$

где τ_o – контрольный отрезок времени, с.

В уравнении (18) все величины безразмерные. Это уравнение является дифференциальным уравнением двух переменных в частных производных. Область определения независимых переменных определяется единичным отрезком

$$x \in [0,\ 1],\ y \in [0,\ 1],\ z \in [1,\ 0]. \quad (19)$$

Начальные условия рассматриваемой задачи

$$z(x,\ y) = 1 \text{ при } x = 0,\ y = 0 \quad (20)$$

и граничные условия

$$z(x,\ 0) = 1. \quad (21)$$

Решение уравнения (18) аналитическими методами является несколько затруднительным. Поэтому применим метод, дающий приближенное решение. Одним из таких методов является метод Галеркина [9].

Выбираем пробную функцию, удовлетворяющую граничным условиям

$$Z_a = 1 - k \cdot x^2 y^2. \quad (22)$$

Ряд (22) имеет удовлетворительную сходимость. Подстановка этого ряда в (18) дает отличную от нуля невязку:

$$R = -2ky^2 + \alpha_1 2ky\left(1 - kx^2 y^2\right)xy^2 - \alpha_2. \quad (23)$$

В качестве вспомогательной функции выберем функцию, порядок которой меньше на единицу по сравнению с пробной функцией

$$\phi = x \cdot y. \quad (24)$$

Неизвестный коэффициент определиться из следующего внутреннего произведения

$$(R,\ \phi) = \int_0^1 \int_0^1 R \cdot \phi \cdot dxdy = 0,$$

$$\alpha_1 a^2 - 2.33\alpha_1 a + 4.375a + 4.375\alpha_2 = 0$$

, откуда

$$k = 1.167 - \frac{4.375}{\alpha_1} + \sqrt{1.361 - \frac{5.103}{\alpha_1} - \frac{4.785}{\alpha_1^2} - 4.375\frac{\alpha_2}{\alpha_1}}. \quad (25)$$

Подставляя (25) в (22) и учитывая замены (17), (10) получим приближенное решение задачи распределения температуры по высоте помещения при наличии открытого пламени

$$t(\xi,\ \tau) = \frac{1 - Z_a}{\beta} + t_o \text{ или}$$

$$t(\xi,\ \tau) = \frac{1}{\beta\tau_o^2}\left[\left(1.167 - \frac{4.375}{\alpha_1} + \sqrt{1.361 - \frac{5.103}{\alpha_1} - \frac{4.785}{\alpha_1^2} - 4.375\frac{\alpha_2}{\alpha_1}}\right)\xi^2\tau^2\right] + t_o \quad (26)$$

Уравнение (26) определяет распределение температуры в помещении при условии свободной конвекции, в рамках одномерной модели. Особенностью данного уравнения является безразмерность величин его составляющих и коэффициенты α_1 и α_2 представляют собой безразмерные комплексы. Поэтому можно рассматривать это уравнение как критериальное и использовать его при описании тепловых процессов в реальных объектах, методом моделирования на экспериментальных установках [8].

Лабораторная проверка модели температурного поля. Модель (26) динамики температурного режима в помещении может

быть применима для описания усредненных значений температуры в помещении при наличии открытого пламени или источника тепловой энергии. Однако как показывает практический опыт анализа температурного режима в помещении, что температура относительно высоты существенно разнится. Например, температура у пола и потолка помещения при наличии аэрационных фонарей в системе вентиляции, может отличаться на десятки градусов.

Для представления модели (26) в графическом виде, рассмотрим конкретную ситуацию процесса возникновения пожара в модельном эксперименте. Лабораторная установка, в которой были проведены эксперименты, представляет собой подобие помещения с размерами $0.9\times0.9\times0.54=0.437$ м^3. Параметры, которые учитывались в эксперименте представлены в табл.1.

Таблица 1. Параметры, используемые в модельном эксперименте.

№ пп	Наименование параметра	Обозначение	Величина	Размерность
1.	Плотность воздуха	ρ	1.29	кг/м^3
2.	Удельная теплоемкость воздуха	C_p	1005	Дж/(кг·К)
3.	Коэффициент теплопроводности воздуха	λ	0.024	Вт/(м·К)
4.	Удельная скорость выгорания вещества	$\psi_{y\partial}$	0.015	кг/(м^2·с)
5.	Теплотворная способность вещества (древесина)	Q_H^p	13.6·10^6	Дж/кг
6.	Площадь поверхности горения	F	0.6	м^2
7.	Коэффициент теплового расширения воздуха	β	1/273	1/К
8.	Объем помещения	V_{Π}	0.437	м^3
9.	Высота помещения	h	0.54	м
10.	Время	τ	независимый параметр	с
11.	Температура воздуха в помещении	t	выходной параметр	ºС
12.	Начальная температура теплового процесса	t_o	17	ºС
13.	Безразмерная температура	$z=1-\beta(t-t_o)$	выходной параметр	1
14.	Безразмерная высота	$\xi=\frac{x}{h}$	независимый параметр	1
15.	Контрольный отрезок времени	τ_o	1000	с
16.	Безразмерный коэффициент	α_1	2.862·10^8	1
17.	Безразмерный коэффициент	α_2	1.264·10^4	1

В ходе модельного эксперимента на лабораторной установке были получены средние значения температуры воздуха на высоте $x=0.432$ м, и учитывая (13) получим $\xi=0.8$. Экспериментальные данные представлены в табл.2.

Таблица 2. Экспериментальные данные.

tx, °С	17,5	20	22,5	27,5	34,5	36
τ, с	48	87	111	155	212	257

Положив в уравнении (26) $\xi=0.8$ и учитывая данные табл.1 и табл.2 получим график, показанный на рис. На этом графике представлена зависимость, построенная по данным (табл.1) и точки данных, полученных на экспериментальной установке (табл.2).

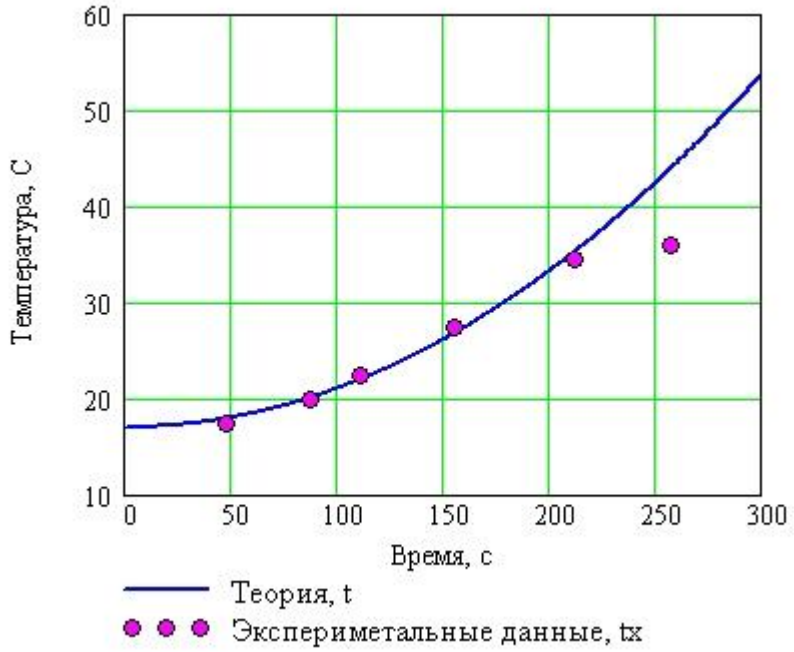


Рис. График функции изменения температуры в времени по уравнению (26) и точки экспериментальных значений модельного эксперимента.

Выводы. Полученная модель, представленная уравнением (26) позволяет оценивать параметры температурного процесса возгорания на уменьшенных макетах объектов и выдавать рекомендации для реальных объектов, повышая их пожаробезопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паршин М.В., Мурзинов В.Л. Моделирование времени достижения температурой критического значения при пожаре в помещении, оборудованном вытяжной аварийной вентиляцией // Наука и образование в XXI веке сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 34 частях. 2013. С. 90 – 92.
2. Пузач С.В., Абакумов Е.С. К определению высоты пламенной зоны при диффузионном горении жидкости // Пожаровзрывобезопасность. – 2012, № 2. С. 31 – 34.
3. Мурзинов В.Л. Моделирование времени достижения критического значения температуры при пожаре методом теории размерности / В.Л. Мурзинов, М.В. Паршин // Безопасность жизнедеятельности. – 2015, №3. – С.53-57.
4. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 2003. 840 с.
6. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 576 с.
7. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Физматлит, 2001. – 576 с.
8. Сытдыков М.Р., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Оценка совершенства пневматического тракта порошковых огнетушителей на основе метода анализа размерностей // Пожаровзрывобезопасность. – 2012, № 4. – С. 51 – 54.
9. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 352 с.

DYNAMICS OF CHANGE OF THE TEMPERATURE FIELD IN BUILDINGS IN CASE OF FIRE

V. I. Murzinov

Murzinov Valery Leonidovich, Voronezh state technical University, doctor of technical Sciences, professor of fire and industrial safety, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

ABSTRACT

Shows the importance of modeling thermal processes in a gas medium at the initial stage of the fire. We aim to build relationships between room temperature in the initial stage of fire with temporal and physical parameters in conditions of free convection. The efficiency of obtained solutions were checked in a pilot plant. The possibility of predicting the time to reach critical values of the room temperature in the initial stage of the fire.
Keywords: fire, convective heat transfer, free competition, thermal and physical parameters, critical temperature.

REFERENCES

1. Parshin M. V., Murzinov V. L. Modeling time air temperature reaches the critical value in the fire in room with exhaust emergency ventilation // Science and education in XXI century collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference: in 34 parts. 2013. Pp. 90 – 92.
2. Puzach S. V., Abakumov E. S. To the determination of the height of an ardent zone in the diffusive burning of liquids // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2012, № 2. P. 31 – 34.
3. Murzinov V. L. Modelling time to reach critical temperature in the fire method of the theory of dimension / Murzinov V. L., Parshin M. V. // life Safety. – 2015, No. 3. – P. 53-57.
4. Kutateladze S. S. fundamentals of the theory of heat transfer. – M.: Atomizdat, 1979. – 416 p
5. Loytzyansky L. G. Mechanics of liquid and gas. – M.: Science, 2003. 840 S.
6. Kamke E. Reference book on ordinary differential equations. – SPb.: Publishing House "LAN", 2003. – 576.
7. Zaitsev V. F., Polyanin A. D. Handbook on ordinary differential equations. – M.: Fizmatlit, 2001. – 576.
8. Sitdikov R. M., Kozhevin D. F., Polyakov A. S. the Estimation of quality pneumatic tract dry powder fire extinguishers based on the method of dimensional analysis // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2012, № 4. – P. 51 – 54.
9. Fletcher K., Numerical methods based on Galerkin methods: TRANS. from English. – M.: Mir, 1988. – 352 p.

УДК 614.841.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОМЕЩЕНИИ С ВЕНТИЛЯЦИЕЙ В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА

В. Л. Мурзинов

Мурзинов Валерий Леонидович, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

Получена зависимость с помощью метода размерностей для определения продолжительности пожара до достижения определенного значения среднеобъемной температуры в помещении. Эта зависимость позволяет определять критическую продолжительность пожара для помещений с различными объемами. Модель учитывает влияние на динамику температурного режима таких параметров, как теплота сгорания веществ, удельная скорость выгорания вещества, коэффициент теплоотдачи, производительность вытяжной аварийной вентиляции, объём помещения.

Ключевые слова: пожар, конвективный теплообмен, свободная конвекция, моделирование, теплофизические параметры, критическая температура. Метод размерностей. Теплота сгорания. Удельная скорость выгорания веществ. Вентиляция. Коэффициент теплоотдачи.

Введение. Моделирование времени достижения заданной температуры при возникновении пожара в помещении позволяет определить такой важный показатель, как критическая продолжительность пожара. Критическая продолжительность пожара – это время, в течение которого достигается предельно допустимое значение опасных факторов пожара (ОФП) в установленном режиме его изменения[1]. Критическая продолжительность пожара используется в общей процедуре определения необходимого времени эвакуации людей при пожаре. Прогнозирование ОФП может осуществляться различными методами моделирования тепловых процессов в объеме помещения [4]. Однако, как показывает практика процессы, протекающие во время пожара, сложны, взаимозависимы, и моделировать их аналитическими методами сложно, а получаемые модели не всегда соответствуют действительному процессу. Кроме этих методов существует метод размерностей, хорошо себя зарекомендовавший в моделировании физических процессов и явлений окружающего мира [2, 3]. Особенность этого метода заключается в получении эффективных соотношений, но при условии правильного анализа объекта моделирования, выявления значимых параметров и использовании достоверной статистической информации [5, 6].

Анализ пожарной обстановки в помещении в начальное стадии пожара. Анализ процесса возникновения и развития пожара позволил определить параметры, влияющие на среднеобъемную температуру газовой среды в помещении, в котором происходит горение. Этими параметрами являются: T_m – среднеобъемная температура газовой среды в помещении, К; η – коэффициент полноты сгорания; Q_H^p – теплота сгорания вещества/материала, Дж/кг; $\psi_{уд}$ – удельная скорость выгорания вещества/материала, [кг/(м^{2}с)]; α – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности помещения, Вт/(м^{2}К); c_p – удельная массовая теплоемкость газовой среды при постоянном давлении, Дж/(кгК); $d_{ср}$ – средний диаметр пятна розлива жидкости, м; W_B – производительность вытяжной аварийной вентиляции, м^3/с; ρ_m – среднеобъемная плотность газовой среды в помещении, кг/м^3; $V_П$ – объем помещения, м^3; τ – время, с.

Анализ и выбор параметров осуществлялся с учётом следующих допущений. Скорость выгорания вещества (материала) принималась как удельная величина.

© Мурзинов В. Л., 2017

Площадь горения представляет собой круг, определяющим для которого является средний диаметр. Величина избыточного давления или вакуума принимается равным нулевому значению, так как полагаем наличие проёмов достаточной величины для поступления свежего воздуха при условии работы аварийной вытяжной вентиляции. Средняя плотность газовой среды в помещении в процессе возгорания определяется только средней температурой в этом помещении.

Постановка задачи и моделирование средней температуры в помещении

С позиции анализа размерностей влияние выбранных параметров на изменение среднеобъёмной температуры газовой среды в помещении можно представить как функцию

$$T_m = k \cdot \eta^a \cdot \left(Q_H^p\right)^b \cdot \psi_{y\partial}^c \cdot \alpha^d \cdot c_p^e \cdot d_{cp}^f \cdot W_B^g \cdot \rho_m^x \cdot V_\Pi^y \cdot \tau^r . \quad (1)$$

В уравнении (1) неизвестными константами, требующие определения, являются *k, a, b, c, d, e, f, g, x, y, r*. Количество этих констант можно несколько уменьшить, если учесть безразмерный характер коэффициента полноты сгорания, и сделать замену

$$A = k \cdot \eta^a , \quad (2)$$

тогда с учётом (2) уравнение (1) примет вид

$$T_m = A \cdot \left(Q_H^p\right)^b \cdot \psi_{y\partial}^c \cdot \alpha^d \cdot c_p^e \cdot d_{cp}^f \cdot W_B^g \cdot \rho_m^x \cdot V_\Pi^y \cdot \tau^r \quad (3)$$

и неизвестными константами будут *A, b, c, d, e, f, g, x, y, r*.

Учитывая размерности параметров, входящих в уравнение (3) и принимая во внимание, что независимыми единицами измерения являются мера массы, длинны, времени, температуры, получим систему уравнений

$$\left.\begin{aligned} 2b - 2c + 2e + f + 3g - 3x + 3y &= 0 \\ 2b + c + 3d + 2e + g - r &= 0 \\ c + d + x &= 0 \\ d + e &= -1 \end{aligned}\right\},$$

решением которой будет

$$\left.\begin{aligned} b &= \frac{1}{2}\left(x - f - 3g - 3y\right) + 1 \\ c &= 1 + \exp(1) - x \\ d &= -1 - \exp(1) \\ r &= -f - 2g - 3y \end{aligned}\right]. \quad (4)$$

Константы из (4) подставим в уравнение (3) и, выполнив необходимые преобразования, получим

$$T_m = A \frac{Q_H^p \psi_{y\partial}}{\alpha} \left(\frac{c_p \psi_{y\partial}}{\alpha}\right)^{\exp(1)} \left(\frac{\rho_m \sqrt{Q_H^p}}{\psi_{y\partial}}\right)^x \left(\frac{d_{cp}}{\tau\sqrt{Q_H^p}}\right)^f \times$$

$$\times \left(\frac{W_B}{\tau^2\left(\sqrt{Q_H^p}\right)^3}\right)^g \left(\frac{V_\Pi}{\tau^3\left(\sqrt{Q_H^p}\right)^3}\right)^y .$$

или

$$\frac{T_m\alpha}{Q_H^p\psi_{y\partial}} = A\left(\frac{c_p\psi_{y\partial}}{\alpha}\right)^{\exp(1)}\left(\frac{\rho_m\sqrt{Q_H^p}}{\psi_{y\partial}}\right)^x\left(\frac{d_{cp}}{\tau\sqrt{Q_H^p}}\right)^f \times$$

$$\times\left(\frac{W_B}{\tau^2\left(\sqrt{Q_H^p}\right)^3}\right)^g\left(\frac{V_\Pi}{\tau^3\left(\sqrt{Q_H^p}\right)^3}\right)^y \qquad (5)$$

Уравнение (5) представляет собой критериальное уравнение, так как входящие в него комплексы являются безразмерными величинами и его можно записать в более компактном виде

$$K_t = A\cdot K_2^{\exp(1)}\cdot K_3^x\cdot K_4^f\cdot K_5^g\cdot K_6^y, \qquad (6)$$

где $K_t = \frac{T_m\alpha}{Q_H^p\psi_{y\partial}}$, $K_2 = \frac{c_p\psi_{y\partial}}{\alpha}$, $K_3 = \frac{\rho_m\sqrt{Q_H^p}}{\psi_{y\partial}}$, $K_4 = \frac{d_{cp}}{\tau\sqrt{Q_H^p}}$, $K_5 = \frac{W_B}{\tau^2\left(\sqrt{Q_H^p}\right)^3}$,

$K_6 = \frac{V_\Pi}{\tau^3\left(\sqrt{Q_H^p}\right)^3}$.

В уравнение (6) входят пять неизвестных констант, которые можно количественно оценить, если воспользоваться экспериментальными данными. Для оценки этих величин достаточно построить систему из пяти уравнений.

Для получения количественной оценки безразмерных комплексов, входящих в уравнение (7) используем следующие статистические данные, представленные в табл.1.

Таблица 1. Статистические данные для оценки констант критериального уравнения

Время проведения замеров от начала процесса возгорания τ, *с*	Средне объёмная температура в помещении T_m, К	Средний коэффициент теплоотдачи α, *Вт/(м²К)*	Средний диаметр пятна разлива горючей жидкости d_{cp}, *м*	Средняя плотность газовой среды в помещении ρ_m, *кг/м³*	Производительность аварийной вытяжной вентиляции W_B, *м³/с*
8	293,00	1,700	0,1	1,205	0,288
60	294,02	4,353	0,22	1,200	0,364
120	300,42	8,424	0,44	1,170	0,512
180	314,94	12,060	0,66	1,120	0,598
240	337,60	15,213	0,88	1,040	0,659

$$\left.\begin{aligned}
K_{t1} &= A\cdot K_{21}^{\exp(1)}\cdot K_{31}^x\cdot K_{41}^f\cdot K_{51}^g\cdot K_{61}^y\\
K_{t2} &= A\cdot K_{22}^{\exp(1)}\cdot K_{32}^x\cdot K_{42}^f\cdot K_{52}^g\cdot K_{62}^y\\
K_{t3} &= A\cdot K_{23}^{\exp(1)}\cdot K_{33}^x\cdot K_{43}^f\cdot K_{53}^g\cdot K_{63}^y\\
K_{t4} &= A\cdot K_{24}^{\exp(1)}\cdot K_{34}^x\cdot K_{44}^f\cdot K_{54}^g\cdot K_{64}^y\\
K_{t5} &= A\cdot K_{25}^{\exp(1)}\cdot K_{35}^x\cdot K_{45}^f\cdot K_{55}^g\cdot K_{65}^y
\end{aligned}\right\}. \qquad (7)$$

Статистические данные получены для помещения объемом $V_\Pi = 129.6$ м³. Величина массовой скорости выгорания в данном помещении для древесины составила

$\psi_{y\partial} = 0.015$ кг/(м^{2}с). Низшая теплота сгорания древесины $Q_H^p = 13.8 \cdot 10^6$ Дж/кг. Теплоемкость газовой среды в помещении примем $c_p = 1005$ Дж/(кг·К). Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности помещения в соответствии с [4] может быть определён из соотношения

$$\alpha = 4.07\sqrt[3]{T_m - T_W}\,, \qquad (8)$$

где $T_m \le 333K$,

$T_W = T_o + 0.2(T_m - T_o) + 0.00065(T_m - T_o)^2$,

T_o – начальная температура процесса возгорания.

Стена производственного здания выполнена из железобетонных конструкций, поэтому для начального момента пожара принимаем $\alpha = 1.7$ Вт/(м^{2}К). Начальное значение среднеобъемной плотности газовой среды в помещении $\rho_o = 1.205$ кг/м^3. Значение среднеобъемной плотности газовой среды в помещении найдем из соотношения

$$\rho_m = \frac{T_o}{T_m}\rho_o\,. \qquad (9)$$

На основании статистических данных и решения алгебраической системы уравнений (7) получены количественные оценки констант, входящих в уравнение (6):

$A = 7.5 \cdot 10^{-4}$, $x = 0.78$, $f = 2.29$, $g = 1$, $y = -1.7$

Теперь можно окончательно записать критериальное уравнение (6)

$$K_t = 7.5 \cdot 10^{-4} \cdot K_2^{\exp(1)} \cdot K_3^{0.78} \cdot K_4^{2.29} \cdot K_5^{1} \cdot K_6^{-1.7} \qquad (10)$$

Уравнение (10) использовать в инженерных решениях несколько сложно, из-за громоздкости соотношений. Поэтому для получения уравнения, применимого в инженерных расчётах времени достижения заданной среднеобъёмной температуры в помещении в начальной стадии пожара, уравнение (10) преобразуем с учётом (8) и (9). В результате преобразований будем иметь уравнение

$$\tau(T_m) = \left[1.316 \cdot 10^3 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \frac{(V_\Pi)^{1.7} \left(Q_H^p\right)^{0.095}}{(d_{cp})^{2.29} W_B} \right]^{1.235}, \qquad (11)$$

где $\xi_1 = 4.07 \dfrac{T_m \sqrt[3]{1.2 \cdot T_m - 351.6}}{Q_H^P \psi_{y\partial}}$,

$$\xi_2 = 45.38 \left(\frac{T_m \sqrt[3]{1.2 \cdot T_m - 351.6}}{c_p \cdot \psi_{y\partial}} \right)^{\exp(1)},$$

$$\xi_3 = \left(353.065 \frac{T_m \cdot \psi_{y\partial}}{\sqrt{Q_H^p}} \right)^{0.78}.$$

Однако уравнение (11) можно привести к более компактному виду

$$\tau(T_m) = \left[2.432 \cdot 10^3 \cdot \frac{(T_m)^{1.78} (1.2 \cdot T_m - 351.6)^{1.239} (V_\Pi)^{1.7}}{\left(Q_H^P\right)^{1.295} (c_p)^{\exp(1)} \left(\psi_{y\partial}\right)^{2.938} (d_{cp})^{2.29} W_B} \right]^{1.235}. \qquad (12)$$

Уравнение (12) определяет заданное значение среднеобъёмной температуры, достигаемой в помещении, снабжённой аварийной вытяжной вентиляцией, от начала процесса возгорания.

Таблица 2. Параметры, используемые в модельном эксперименте

№ пп	Наименование параметра	Обозначение	Величина	Размерность
18.	Удельная теплоемкость воздуха	c_p	1005	Дж/(кг·К)
19.	Коэффициент теплопроводности воздуха	λ	0.024	Вт/(м·К)
20.	Удельная скорость выгорания вещества	$\psi_{уд}$	0.015	кг/(м^2·с)
21.	Теплотворная способность вещества (древесина)	Q	$13.6\cdot10^6$	Дж/кг
22.	Средний диаметр поверхности горения	$d_{ср}$	0.048	м
23.	Объем помещения	$V_П$	0.437	м^3
24.	Производительность вытяжной вентиляции	W_B	0.012	м^3/с

Модельный эксперимент определения средней температуры. Был проведен модельный эксперимент, в котором были учтены параметры, представленные в табл. 2. На рис. представлена теоретическая кривая по уравнению (12) и экспериментальные данные (табл. 3).

Таблица 3. Экспериментальные данные модельного эксперимента

Точки измерения	1	2	3	4	5	6
τ, с	48	87	111	155	212	257
Tm, °С	290	293	295	300	307	309

Из этого графика видна сходимость теоретических и экспериментальных значений. Имеет место совпадения характера изменения данных. Поэтому уравнение (12) может быть использовано для оценочных расчётов времени достижения заданной среднеобъёмной температур в помещении при начале пожара.

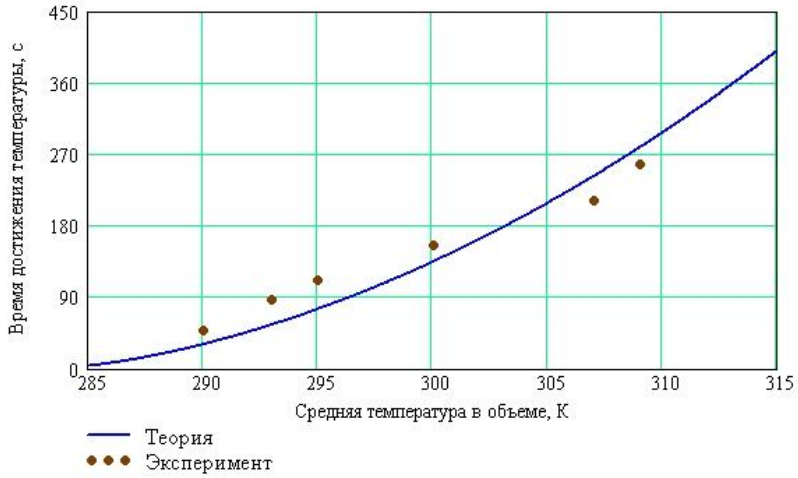


Рис. Время, в течение которого изменяется среднеобъёмная температура в помещении при возникновении пожара.

Выводы. На основе теории размерностей и подобия получено критериальное уравнение для описания процессов изменения температуры газовой среды в помещении при пожаре. По сравнению с известными из научно-технической литературы моделями пожара, предложенные безразмерные комплексы выгодно отличаются тем, что они одновременно учитывают как параметры микроклимата в помещении, так и теплофизические характеристики горючего материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
2. Седов, Л.Н. Методы подобия и размерностей в механике. – М.: Наука, 1981. – 440 с.
3. Вяльцев А.В. Возможность оценки пожарных рисков на угольных шахтах с использованием теорий подобия и размерностей. (на примере изучения процесса пробуксовки барабана ленточного конвейера) / А.В. Вяльцев, А.В. Фролов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – Т. 2, № 12. – С. 233-244.
4. Мурзинов В.Л. Моделирование температуры в помещении при наличии открытого пламени в условиях свободной конвекции / В.Л. Мурзинов, М.В. Паршин, А.П. Паршина // Пожаровзрывобезопасность. – 2014, №12. – С. 28 – 33.
5. Щиров В.Н. Априорное определение тягового сопротивления глубокорыхлителя методами теории размерностей и подобия / В.Н. Щиров Г.Г. Пархоменко // Вестник аграрной науки Дона. – 2013, № 1 (21). – С. 28-37.
6. Чиченев Н.А. Применение теории размерностей для описания процесса лазерной закалки // Вісник СевНТУ. – 2014, № 151. – С. 202-206.

MODELING THE AVERAGE ROOM TEMPERATURE WITH VENTILATION IN THE INITIAL STAGE OF THE FIRE

V. I. Murzinov

Murzinov Valery Leonidovich, Voronezh state technical University, doctor of technical Sciences, professor of fire and industrial safety, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

ABSTRACT

The obtained dependence using the method of dimensions to determine the duration of the fire to achieve a particular value of the volumetric average temperature in the room. This dependence allows determining the critical duration of the fire for rooms with different volumes. The model takes into account the impact on the dynamics of the temperature regime parameters such as combustion heat of substances, the specific rate of burnout of a substance, heat transfer coefficient, performance exhaust emergency ventilation, the volume of the room.

Keywords: Fire, convective heat transfer, free convection, simulation, thermophysical parameters, critical temperature. The method of dimensions. The heat of combustion. Specific rate of burnout substances. Ventilation. The heat transfer coefficient.

REFERENCES

1. GOST 12.1.004-91. Fire safety. General requirements.
2. Sedov, L. N. Methods of similarity and dimensions in mechanics. – M.: Nauka, 1981. – 440 S.
3. Vyaltsev A. V. the Ability to assess fire risks in coal mines using theories of similarity and dimensions. (for example, studying the process of spin drum belt) / A. V. Vyaltsev, A.V. Frolov // Mining information-analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2007. – Vol. 2, No. 12. – P. 233-244.
4. Murzinov V. L. Simulation of the room temperature in the presence of an open flame in conditions of free convection / V. L. Martinov, M. V. Parshin, Parshin A. P.//]. – 2014, No. 12. – S. 28 – 33.
5. Syrov V. N. A priori definition of traction resistance of the chisel by methods of the theory of dimensions and similarity / V. N. Shirov Parkhomenko G. G. // Bulletin of agricultural science of the don. – 2013, № 1 (21). – S. 28-37.
6. Chichenev N.. Application of the theory of dimensionalities to describe the process of laser quenching // Visnyk of SevNTU. In 2014, № 151. – S. 202-206.

УДК 536.491

ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ НАУЧНЫХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА

В. Л. Мурзинов, А. П. Паршина, М. В. Паршин

Мурзинов Валерий Леонидович, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru
Паршина Анастасия Петровна, Воронежский государственный технический университет, ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: parshina@vgasu.vrn.ru.
Паршин Максим Викторович, Воронежский государственный технический университет, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: maxipi@yandex.ru.

В данной работе рассматриваются наиболее эффективные подходы и методы изучения природы пожара. Выделены три группы математических моделей и рассмотрены примеры по каждой из них. В ходе исследования рассматривались и обсуждались методы прогнозирования динамики опасных факторов в начальной стадии пожара, полученные и опубликованные выдающимися деятелями науки как в России, так и зарубежом. Анализ существующих математических моделей выявил отсутствие эффективных математических моделей, описывающих влияние вентиляционных потоков на динамику температурного режима пожара в помещении.

Ключевые слова: пожар, опасный фактор пожара, вентиляционные потоки, динамика температуры, методы изучении пожара, математическая модель.

Введение. Прогнозирование динамики опасных факторов пожара заключается в определении времени достижения опасным фактором критического значения, при котором возникает опасность жизни и здоровью людей. С целью получения наиболее достоверной информации при прогнозировании используют методы математического моделирования.

Рассматривая многообразие подходов и методов изучения природы пожара, следует отметить, что математическое моделирование получило широкое применение в этой области науки. Это обусловлено тем, что математическое моделирование позволяет решить ряд вопросов при системном подходе к обеспечению пожарной безопасности. Результаты математического моделирования обладают достаточной точностью и при этом носят общий характер, в то время как экспериментальные исследования позволяют изучить частный случай.

Классификация существующих методов прогнозирования динамики опасных факторов пожара. В настоящее время существует множество математических моделей описывающих начальную стадию пожара, которые можно условно классифицировать на три группы: интегральные, зонные и полевые. Различие этих моделей заключается в разном уровне детализации термогазодинамической картины пожара [1].

Интегральная модель пожара позволяет получить информацию, то есть сделать прогноз о средних значениях параметров газовой среды в помещении для любого момента развития начальной стадии пожара [2].

Интегральный метод моделирования пожара в помещении разработан Заслуженным деятелем науки РФ, доктором технических наук, профессором Ю. А. Кошмаровым. Существенное дополнение указанный метод получил в трудах А. В. Матюшина, С. И. Зернова, В. М. Астапенко, Ю. С. Зотова, А. Н. Шевлякова, И. Д. Гуско, В. А. Козлова, С. В. Пузач и др. [3]. Интегральный метод является самым простым среди всех существующих методов моделирования пожаров. Необходимо отметить, что данный метод лежит в основе зонной и полевой моделей. Сущность интегрального метода заключается в том, что состояние газовой среды оценивается через термодинамические параметры, осредненные по всему объему помещения.

© Мурзинов В. Л., Паршина А. П., Паршин М. В., 2017

Интегральный метод рекомендуется применять в следующих случаях:

1) если здание содержит развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;

2) для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в пять раз);

3) для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара [4].

В публикации [5] авторами выполнен анализ системы основных дифференциальных уравнений интегральной математической модели пожара. Определены и проанализированы достоинства и недостатки этой модели, а также составлен перечень её допущений и упрощений. Предложены пути дальнейшего совершенствования интегральной математической модели пожара.

В частности авторами выявлено, что основным преимуществом использования интегральной модели является то, что она имеет аналитическое решение, применение данной модели не требует большого количества вычислительных ресурсов. Использование интегральной математической модели целесообразно только для помещений малого объема, имеющих простую геометрическую форму, что является существенным недостатком. Также к недостаткам интегральной модели можно отнести и тот факт, что она менее детально отражает состояние опасных факторов пожара из-за осредненных по всему объему помещения основных термодинамических параметров газовой среды.

Данная модель основана на ряде упрощений и допущений, в частности принято считать, что газовая среда внутри помещения при пожаре есть смесь идеальных газов и в каждой точке пространства в любой момент времени реализуется локальное равновесие, плотность газовой среды в помещении и внутренняя энергия системы во всех точках принимаются равными своим среднеобъемным значениям. Также существует допущение о постоянстве значения коэффициента, представляющего собой долю поглощенного тепла от выделившегося – коэффициента теплопоглощения. Исследования показали, что коэффициент теплопоглощения не является универсальной константой, а зависит от множества факторов (размеров помещения, количества горючего материала, теплофизических свойств ограждений и т.д.). Значение удельной скорости выгорания остается неизменным вплоть до полного выгорания пожарной нагрузки, однако в действительности может иметь место уменьшение скорости выгорания из-за образования на горящей поверхности материала слоя золы и угля. В интегральной математической модели принято допущение о том, что процесс стабилизации горения жидкости происходит мгновенно и постоянен в течение всего времени развития пожара [3, 6, 7]. Применение этих допущений и упрощений при математическом моделировании динамики опасных факторов пожара с помощью интегральной модели снижают точность результатов, что может привести к значительным ошибкам при оценке пожарной опасности объекта защиты. Для устранения перечисленных допущений требуется более точные экспериментальные исследования термогазодинамических процессов пожара.

Зонная математическая модель пожара условно разделяет пространство помещения на несколько характерных зон, таких как припотолочная область пространства, область, охватывающая восходящие конвективные потоки над очагом пожара и область наименее задымленной и холодной части пространства. Информация, полученная посредством зонного моделирования, позволяет сделать прогноз о значениях параметров состояния газовой среды в характерных пространственных зонах.

В работе [9] описывается и критикуется зонная математическая модель пожара, предложенная в [3]. Данная математическая модель разбивает помещение на отдельные зоны, в которых для описания тепломассообмена используются соответствующие уравнения законов сохранения.

Выявлены следующие недостатки:

- формулы для определения средних

температур и массовых расходов в поперечных сечениях конвективной колонки получены аналитически для фиктивного точечного источника, расположенного под поверхностью горения, с тепловой мощностью, равной мощности тепловыделения в очаге горения, при неограниченной свободной конвекции нагретого газа;

- не учитывается реальное расположение источника горения выше поверхности горючего материала;

- не учитываются потери на турбулентное и ламинарное трение;

- не учитывается влияние ограждающих конструкций на теплообмен;

- уравнение для определения массового расхода в поперечных сечениях конвективной колонки получено для частного случая.

Полевая (дифференциальная) модель пожара условно разделяет пространство на множество ячеек, причем, чем больше количество ячеек, тем точнее результаты расчетов. Таким образом, полевая модель пожара позволяет получить значения всех локальных параметров газовой среды во всех точках пространства внутри помещения для любого момента развития пожара. Но при этом, главная трудность при моделировании горения состоит в большом числе уравнений химической кинетики и уравнений переноса для каждой из многочисленных компонент. Весьма обнадеживающим является следующее: возникшее в последнее время направление по созданию суперкомпьютеров на базе графических процессоров и программной системы CUDA обладает тем большей эффективностью, чем на большее число потоков удается разбить вычислительный процесс. Число таких потоков может быть очень велико. Это вселяет определенные надежды на прогресс в вопросе математического моделирования горения [8].

Обзор современных методов моделирования тепловых процессов пожара. В ходе исследования рассматривались и обсуждались методы прогнозирования динамики опасных факторов в начальной стадии пожара, полученные и опубликованные Заслуженным деятелем науки РФ, доктором технических наук, профессором Ю.М. Кошмаровым [2].

Одним из методов прогнозирования критической продолжительности пожара является интегральная математическая модель, которая представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих процесс изменения состояния среды, заполняющей помещение.

Данная система уравнений содержит среднеобъемные параметры газовой среды в помещении, теплотехнические характеристики пожарной нагрузки и ограждений, а также массовые расходы поступающего воздуха и удаляемого газа, создаваемые приточно-вытяжной вентиляцией, подачей огнетушащего вещества.

Допущения, принятые рассматриваемой постановке задачи:

- объем помещения не изменяется и является константой;

- поля локальных термогазодинамических параметров состояния усредняются, то есть принимаются стационарными и однородными в объеме исследуемого помещения;

- параметр среднеобъемной внутренней энергии заменен на среднеобъемное значение давления в помещении;

- локальное абсолютное давление в каждой точке помещения приравнивается к среднеобъемному давлению;

- газовая среда внутри помещения рассматривается как смесь идеальных газов;

- в каждой точке пространства внутри помещения в любой момент времени реализуется локальное равновесие;

- газообмен принимается односторонним и осуществляется только через проемы наружу, при этом рассматриваются также условия, при которых ветер отсутствует.

Интегральный метод математического моделирования позволяет определять время достижения среднеобъемными параметрами состояния среды в помещении критических значений и связывает множество параметров. Но полученное соотношение основывается на ряде допущений. А для получения аналитического решения задачи определения значений среднеобъемных параметров используются дополнительные приемы преобразования.

Применимость модели ограничивается размерами исследуемых помещений.

В начальной стадии пожара распределение параметров состояния газовой среды по объему помещения характеризуется большой неоднородностью. Поэтому возникла необходимость применения метода прогнозирования, позволяющего получить значения исследуемых параметров в конкретных зонах помещения. Для этого Ю.А. Кошмаров предложил метод математического моделирования на основе условного разбиения пространства внутри помещения на характерные области с существенно различающимися температурами и составами газовых сред. Таким образом, условно выделяются три характерные зоны: конвективную колонку над очагом пожара, припотолочный слой нагретого газа и воздушную зону с практически неизменными параметрами состояния, равными своим начальным значениям.

Данная математическая модель позволяет получить прогноз о динамике значений параметров газовой среды для каждой характерной зоны. Но при этом модель применима только при условиях, когда размеры очага горения значительно меньше размеров помещения и ограничена рассмотрением первой фазы начальной стадии пожара, при которой нагретые газы лишь накапливаются в припотолочной зоне.

Наиболее детальный уровень моделирования могут обеспечить полевые модели пожара. Полевые модели базируются на использовании дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих пространственно-временное распределение температур и скоростей газовой среды в помещении, концентраций компонентов газовой среды, давлений и плотностей. В ходе исследований рассматривались две простейшие полевые модели. В первой модели принимается самая простая гипотеза относительно турбулентных процессов переноса в газовой среде, заполняющей помещение, и считается возможным ограничится рассмотрением переноса энергии в газовой среде только путем конвекции и теплопроводности. Эта модель была разработана в 1987 году И.Ф. Астаховой. [10]

Газовая среда в помещении рассматривается как вязкая теплопроводная несжимаемая жидкость в приближении Буссинеска. Уравнение энергии в силу вышесказанного не содержит член, описывающий радиационный перенос энергии. Предполагается, что поля всех параметров являются двумерными, так как пространственная постановка задачи заменяется плоской; коэффициенты турбулентного переноса принимаются постоянными величинами для всех точек пространства внутри помещения; расчет температурных полей в ограждающих конструкциях основан на использовании дифференциального уравнения Фурье-Кирхгофа, записанного в линейном приближении.

Эта модель представлена уравнением для газовой среды в помещении.

Анализируя в целом эту полевую модель, необходимо сделать ряд замечаний. Прежде всего, следует отметить, что в предложенной модели не рассматривается задымление и состав среды в помещении. Поэтому математическая модель не содержит уравнений диффузии. Коэффициенты переноса (вязкость и теплопроводность) зависят от характера гидродинамических и термодинамических процессов в движущейся среде и, следовательно, значения этих коэффициентов могут существенно различаться в разных точках помещения. Это обстоятельство и двумерность рассмотренной полевой модели ограничивают среду ее практического использования.

Вторая модель базируется на следующих допущениях: газовая среда в помещении так же, как в первой модели, рассматривается как несжимаемая жидкость в приближении Буссинеска, эффекты излучения в работе также на рассматриваются. Предполагается равенство нулю градиентов температур в газовой среде около поверхности ограждения. В отличие от первой модели проблема турбулентности решалась путем использования гипотезы о вихревой вязкости. При моделировании горения используется допущение о существовании локального термодинамического и химического равновесия.

Система уравнений, моделирующая пожар представлена в переменных «функция

тока» - «вихрь». Она включает уравнения направления завихренности, уравнение для определения функции тока, уравнение сохранения энергии потока и концентрации нейтрального компонента.

В связи с тем, что теория процессов переноса в движущейся среде при пожаре в помещении в настоящее время разработана еще не полностью, нельзя ожидать достоверных количественных результатов при использовании дифференциальных моделей пожара. Тем не менее, эти модели позволяют получать хорошие в качественном отношении представления о картине вихревого движения газа и о распределении температур в среде при пожаре в помещении.

Наряду с Ю.А. Кошмаровым большой вклад в изучение пожаров посредством математического моделирования внесли следующие выдающиеся ученые: С.В. Пузач, А.Я. Корольченко, Н.Н. Брушлинский, А.М. Рыжов и т.д.

В 2007 году С.В. Пузач в соавторстве с Е.С. Абакумовым опубликовали статью [9], в которой описали модифицированную математическую зонную модель расчета термогазодинамики пожара. Авторами предложено уравнение для определения расходов газовой смеси и дыма через поперечное сечение конвективной колонки. Представлены результаты численного расчета параметров тепломассообмена при пожаре в атриуме с использованием предложенных зонной и полевой моделей. Рассмотрены особенности применения зонных моделей при оценке пожарной опасности в атриуме.

Так как зонная модель, предложенная Ю.А. Кошмаровым в [2], не учитывает реальное расположение источника горения, влияние потерь на турбулентное и ламинарное трение, а также влияние ограждающих конструкций помещения в данной публикации получена следующая математическая модель, описывающая тепломассообмен при пожаре в атриуме.

В публикации графически показаны распределения по высоте проекции средних скоростей на ось Oz и средних температур в сечениях конвективной колонки: зонная модель [9] и предложенная модифицированная зонная модель.

Графически показано, что существуют максимумы температур и скоростей. При этом максимум скорости расположен выше максимума температуры, что качественно соответствует реальной термогазодинамической картине пожара. Разница температур, определенных по предложенной модифицированной зонной модели, в рассмотренном примере до высоты z=5м составляет порядка 10-30%, при z>5м температуры практически совпадают.

Полевая модель тепломассобмена при пожаре представляет собой дальнейшее развитие зонной математической модели.

Предложенная авторами [9] модифицированная зонная модель позволяет получить распределения параметров по высоте конвективной колонки, качественно и количественно соответствующее реальной термогазодинамической картине пожара в атриуме до высоты от уровня поверхности горючего материала $\leq 4{,}35r$. Полученное уравнение для определения величины массового расхода в колонке наиболее обоснованно физически и показывает необходимость определения влияния на термодинамические процессы при пожаре конфигурации здания. Уточнение уравнения требует проведения дополнительных численных исследований с использованием полевой модели или физического эксперимента.

В диссертационной работе [12] В.В. Гулак получил математическую модель полей температур и концентраций дымовых газов при пожаре.

В данной работе рассмотрено трехмерное движение воздуха в помещении здания с системами общеобменной, противодымной вентиляции и очагом возгорания, выделяющим тепло и дымовые газы. Модель полей концентрации дымовых газов включает уравнение газовой динамики для низкоскоростных вязких сжимаемых воздушных потоков. Эта модель представляет собой систему уравнений:

1. Уравнение неразрывности;
2. Уравнение переноса импульса;

3. Уравнения k-модели турбулентности;

4. Уравнение теплопроводности;

5. Уравнение состояния смеси воздуха и дымовых газов;

6. Уравнение переноса дымовых газов.

Для этой модели начальными условиями являются:

–распределение скоростей, давлений, температур воздуха и концентраций дымовых газов зависят от рассматриваемой задачи;

–воздух либо покоится, либо движется под действием систем вентиляции.

Граничные условия:

–непроницаемость (равенство нулю нормального компонента скорости);

– условия прилипания (равенство нулю всех компонент скорости);

–задаются температура и теплообмен;

–поступление дымовых газов задается функцией выделения дымовых газов.

В открытых проемах и приточно-вытяжных отверстиях систем вентиляции граничные условия определяются давлением или скоростью воздуха, температурой приточного воздуха и концентрацией дымовых газов в поступающем воздухе.

Система уравнений в аналитическом виде на сегодняшний день не решается. Приближенные методы решения связаны с большими затратами и применимы в ограниченной области изменения параметров. Получить инженерный метод на основе этой модели сложно.

Примером прогнозирования критической продолжительности пожара является математическая модель, опубликованная С.С. Лапшиным [13]. На основе интегральной модели пожара с учетом неупрощенного решения уравнения материального баланса для помещения очага пожара в общем виде получено уравнение, позволяющее определить критическую продолжительность пожара в помещении, смежном с очагом пожара. Также автором приведено сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными.

Для определения критической продолжительности пожара автор рассчитывает критические значения среднеобъемных параметров пожара с учетом высоты рабочей зоны в смежном помещении.

При этом критическая масса горючей нагрузки есть масса горючей нагрузки, при сгорании которой в рабочей зоне смежного помещения параметры пожара достигнут своих опасных для человека значений.

В представленной модели не уточнены расшифровки величин, входящих в уравнение. Одно из уравнений с позиции размерностей вызывает сомнения. Поэтому достоверность полученных результатов не может быть применима для инженерных методов расчета.

Также в ходе работы была рассмотрена и проанализирована математическая модель динамики пожара зарубежного исследователя Л. Раздольского. В публикации [14] описываются методы математического моделирования динамики пожаров. Рассматриваются требования международных стандартов. В статье подробно представлены основные дифференциальные уравнения, описывающие тепло- и массообмен при пожаре, а также выведено приближенное решение уравнений Навье-Стокса, позволяющее получить безразмерные температурно-временные кривые пожара [15].

Проводя обзор требований международных стандартов, можно констатировать недостаточную точность методов определения значений пределов огнестойкости конструкций и необходимость совмещения различных методов для повышения эффективности проектирования.

Дифференциальные уравнения, решение которых приведено в работе, широко используются при описании физики большого количества явлений, представляющих научный и экономический интерес. Данные уравнения используются и в России при решении задач пожарной безопасности. Приближенное решение уравнений позволяет определить количество топлива, сжигаемого в помещении до достижения температурой заданного значения, а также получить безразмерную температурно-временную кривую пожара.

В публикации [16] рассматривается проблема решения задач теплообмена. При

этом научно обоснована необходимость поиска новых, физически обоснованных методов для описания процесса передачи тепла. А также предложен подход, основанный на введении поверхностной плотности энтропии взамен коэффициента теплообмена, который позволяет относительно просто решать задачи теплообмена. В расчетных формулах введена такая величина, как время пребывания среды в зоне нагрева. Наличие линейной связи между энтропией и переданным количеством тепла позволяет предположить возможность осуществления теоретического расчета поверхностной плотности энтропии. Еще одно достоинство предлагаемого подхода — в его основе лежит локальный закон сохранения энергии. При использовании законов сохранения нет необходимости детального рассмотрения физических явлений процесса теплообмена. По известному начальному состоянию определяется конечное состояние системы. При традиционном подходе, основанном на использовании коэффициента теплообмена, необходимо детальное рассмотрение процессов, сопровождающих теплообмен, со всеми вытекающими сложностями описания. Однако окончательный вывод о достоинствах и недостатках предлагаемого подхода возможно сделать только после рассмотрения других задач теплообмена.

Вывод. Анализ существующих средств и методов математического моделирования пожаров показал, что используются различные подходы к описанию динамики опасных факторов пожара.

Однако среди этого многообразия математических моделей пожара можно выделить три группы: интегральные, зонные и полевые (дифференциальные). Наиболее распространенными являются интегральные модели пожара, реализующие инженерные методы определения параметров пожара.

При этом все рассмотренные математические модели пожара основываются на множестве допущений и упрощений, что приводит к получению осредненных или приближенных значений искомых параметров. Следовательно, полученные результаты не дают объективной картины развития пожара.

Кроме того, анализ существующих математических моделей выявил отсутствие эффективных математических моделей, описывающих влияние вентиляционных потоков на динамику температурного режима пожара в помещении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлова Н.А. Численная реализация интегральной математической модели пожара в помещении в интегрированной среде Mathcad Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2014. № 11 (32). С. 4.
2. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении [Текст]: Учебное пособие.-М.:Академия ГПС МВД России; 2000. 118с.
3. Кошмаров Ю.А. Развитие пожара в помещении: научный сборник ВНИИПО МВД СССР Горение и проблемы тушения пожаров. М.:ВНИИПО МВД СССР, 1977
4. Определение величины пожарного риска в производственном помещении с выделением горючих жидкостей и газов //Однолько А.А., Ситников И.В. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2011. № 3. С. 125-133.
5. Анализ проблем применения интегральной математической модели пожара // Щербакова К.С., Атапин Н.И. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2013. № 2 (11). С. 94-100.
6. Ситников, И.В. Анализ математических моделей пожара, применяемых для расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара / И.В. Ситников, И.А. Шепелев, С.А. Колодяжный, А.А. Однолько // Инженерные системы и сооружения: Воронеж.гос. арх.– строит. ун-т. – №1(6) – 2012. – С. 81 – 87.
7. Однолько, А.А. Проблемы применения математических моделей, определяющих время

блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара при расчете пожарного риска / А.А. Однолько, И.В. Ситников // Инженерные системы и сооружения: Воронеж.гос. арх.–строит. ун-т. – №1(2) – 2010. – С. 185 – 191.
8. К вопросу об усилении и численной реализации полевой модели развития пожара // Ясинский Ф.Н., Потемкина О.В., Сидоров С.Г., Ясинский И.Ф. //Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2010. № 4. С. 80-82.
9. Модифицированная зонная модель расчета тепломассообмена при пожаре в атриуме // Пузач С.В., Абакумов Е.С.// Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. № 1. С. 53-57.
10. Астахова И.Ф. Математическое моделирование при оценке огнестойкости строительных конструкций, работающих в условиях пожара в помещении. Известия Сибирского отделения АН СССР, № 15, вып. 4. Новосибирск: Наука, 1987.
11. Термогазодинамика пожаров в помещениях // Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А. Молчадский И.С., Шевляков А.Н. // Стройиздат, 1986.–370с.
12. Гулак В.В. Определение полей температур и концентраций дымовых газов при пожаре с использованием теории подобия: Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронежский ГАСУ. – 2011. – 18с.
13. Лапшин С.С. Математическая модель критической продолжительности пожара в помещении, смежном с очагом пожара. Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2010. № 4. С. 83-86.
14. Раздольский, Л. Математическое моделирование динамики пожаров / Л. Раздольский // Материалы Всемирного Конгресса по проектированию Часть II ВЭ. - 2009г.
15. Математическое моделирование динамики пожаров //Паршина А.П., Меркулова Н.В.// Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. № 2 (15). С. 43-53.

REVIEW OF THE LATEST SCIENTIFIC WORKS IN THE FIELD OF PREDICTING HAZARDOUS FACTORS OF FIRE

V. L. Murzinov, A. P. Parshina, M. V. Parshin

Murzinov Valery Leonidovich, Voronezh state technical University, doctor of technical Sciences, professor of fire and industrial safety, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru
Parshina Anastasia Petrovna, Voronezh State Technical University, assistant of the Department of Fire and Industrial Safety, e-mail: parshina@vgasu.vrn.ru.
Parshin Maxim Viktorovich, postgraduate student of Fire and Industrial Safety Department, e-mail: maxipi@yandex.ru.

ABSTRACT

In this paper, the most effective approaches and methods for studying the nature of a fire are considered. Three groups of mathematical models are identified and examples are considered for each of them. In the course of the study, methods for predicting the dynamics of dangerous factors in the initial stage of a fire, received and published by outstanding scientists in Russia and abroad were considered and discussed.
Analysis of existing mathematical models revealed the lack of effective mathematical models describing the influence of ventilation flows on the dynamics of the temperature regime of a fire in a room.
Keywords: fire, dangerous fire factor, ventilation flows, temperature dynamics, methods of fire study, mathematical model.

REFERENCES

1. Mikhailova N.A. Numerical realization of the integral mathematical model of fire in a room in the integrated environment Mathcad Internet-Bulletin VolgGASU. 2014. No. 11 (32). C. 4.
2. Koshmarov, Yu.A. Forecasting of dangerous fire factors in the room [Text]: Textbook. -M.: Academy of State Fire Service of the Ministry of the Interior of Russia; 2000. 118s.
3. Koshmarov Yu.A. Development of fire in the room: a scientific collection VNIIPO of the USSR Ministry of Internal Affairs Combustion and problems of extinguishing fires. Moscow: VNIIPO USSR Ministry of Internal Affairs, 1977
4. Determination of the magnitude of fire risk in the production room with the release of combustible liquids and gases / / Odnolko AA, Sitnikov I.V. // Scientific herald of the Voronezh State Architectural and Construction University. Construction and architecture. 2011. № 3. P. 125-133.
5. Analysis of the problems of application of the integral mathematical model of fire // Shcherbakova KS, Atapin N.I. // Science Magazine. Engineering systems and facilities. 2013. No. 2 (11). Pp. 94-100.
6. Sitnikov, I.V. Analysis of mathematical models of fire used to calculate the time for blocking escape routes by hazardous fire factors / I.V. Sitnikov, I.A. Shepelev, S.A. Kolodyazhny, A.A. / Engineering systems and facilities: Voronezh.gos. Arch.- builds. Un-t. - № 1 (6) - 2012. - P. 81 - 87.
7. One, AA. Problems of application of mathematical models determining the time of blocking of escape routes by dangerous fire factors in calculating fire risk / A.A. One, I.V. Sitnikov // Engineering systems and constructions: Voronezh.Gos. Arch.- builds. Un-t. - №1 (2) - 2010. - C. 185 - 191.
8. On the issue of strengthening and numerical realization of the field model of fire development // Yasinsky FN, Potemkina OV, Sidorov SG, Yasinsky IF // Bulletin of the Ivanovo State Energy University. 2010. № 4. P. 80-82.
9. Modified band model for calculating heat and mass transfer in a fire in an atrium // Puzach SV, Abakumov ES, Fire and explosion safety. 2007. V. 16. No. 1. P. 53-57.
10. Astakhova IF Mathematical modeling in assessing the fire resistance of building structures operating in a fire in a room. Izvestiya of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, No. 15, no. 4. Novosibirsk: Science, 1987.
11. Thermogasdynamics of fires in premises // Astapenko VM, Koshmarov Yu.A. Molchadsky IS, Shevlyakov AN // Stroyizdat, 1986.-370s.
12. Gulak V.V. Determination of temperature fields and concentrations of flue gases in a fire using the theory of similarity: Abstract of the candidate of technical sciences. Voronezh State Agricultural Academy. - 2011. - 18s.
13. Lapshin S.S. A mathematical model of the critical duration of a fire in a room adjacent to a fire. Bulletin of the Ivanovo State Power University. 2010. № 4. P. 83-86.
14. Razdolsky, L. Mathematical modeling of fire dynamics / L. Razdolsky // Materials of the World Congress on designing Part II. - 2009
15. Mathematical modeling of fire dynamics // Parshina AP, Merkulova NV // Scientific journal. Engineering systems and facilities. 2014. № 2 (15). P. 43-53.

УДК 504:351.77

АНАЛИЗ ДИСПЕРСНОГО И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПЫЛИ ОТ ДРОБЕСТРУЙНЫХ УСТАНОВОК ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. И. Головина, И. А. Иванова, В. Я. Манохин

Головина Елена Ивановна, Воронежский государственный технический университет, заместитель декана по учебной работе факультета инженерных систем в строительстве, e-mail: u00111@vgasu.vrn.ru.

Иванова Ирина Александровна, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: ivanova-eco@mail.ru.

Манохин Вячеслав Яковлевич, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: manohinprof@mail.ru.

Промышленная безопасность литейного производства связана с принципами биосферной совместимости системы «человек – производственный объект – окружающая среда». К опасным и вредным факторам литейного производства относятся высокие концентрации пыли и вредных газов, выделяющихся на различных этапах технологического процесса. Дисперсный и элементный составы пыли определяют гигиеническое состояние рабочей зоны литейного производства. По мнению специалистов, наличие в воздухе пыли размером менее 10 мкм увеличивает опасность получения профзаболеваний, таких как пневмокониоз (силикоз), бронхит, дерматит, коньюктивит. Определение гранулометрического состава предоставленной пробы порошка производилась методом лазерной дифракции, реализуемой на лазерном анализаторе частиц Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22».

Ключевые слова: рабочая зона, дисперсность, пыль, концентрация, элементный состав, литейное производство.

Введение. В воздушной среде литейных цехов, кроме пыли, в больших количествах находятся оксиды углерода, углекислый и сернистый газы, азот и его окислы, водород, аэрозоли, насыщенные оксидами железа и марганца, пары углеводородов и др. [2]. Источниками загрязнений являются плавильные агрегаты, печи термической обработки, сушила для форм, стержней и ковшей и т.п. Литейный цех машиностроительного производства располагается в городской застройке. Степень экологической безопасности определяется микроклиматом в зоне дробеструйной установки и межкорпусной зоне завода (при рассеивании выбросов) [7].

Состояние воздуха рабочей зоны литейного производства, как правило, не соответствует нормативным гигиеническим требованиям. Это определяется сложностью технологических процессов производства в целом [1].

Опасность пыли для здоровья определяются также ее гранулометрическим составом, т.е. количественным соотношением в ней фракций пыли различных размеров [3,4].

Для анализа пыли использовали метод дисперсионного (гранулометрического) анализа.

Определение гранулометрического состава предоставленной пробы порошка производилась методом лазерной дифракции, реализуемой на лазерном анализаторе частиц Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22» (рис. 1, 2)

© Головина Е. И., Иванова И. А. Манохин В. Я., 2017

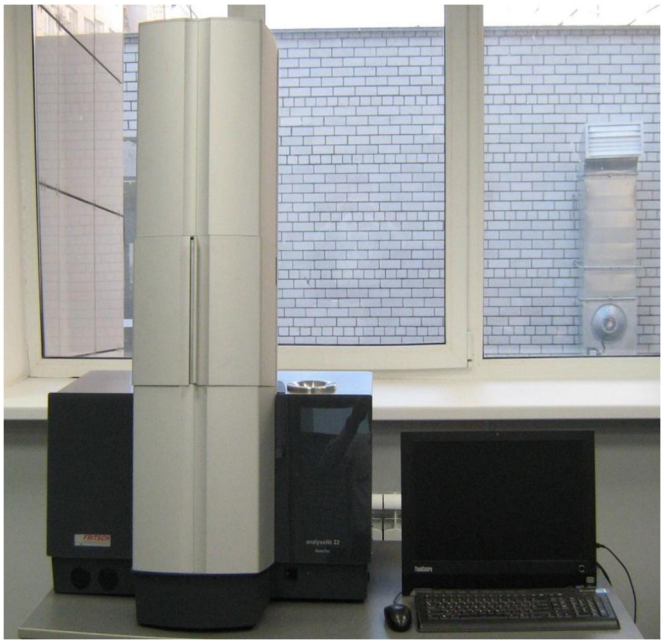
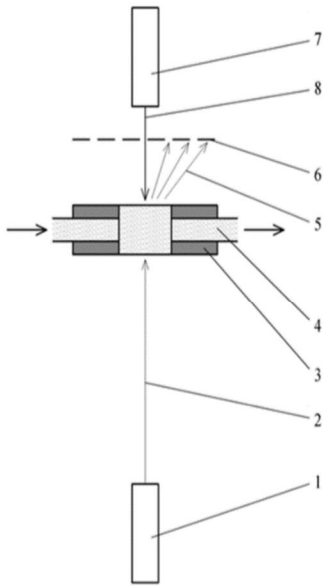


Рис. 1. Общий вид лазерного анализатора Analysette-22 NanoTec (Fritsch, Германия)



1 – передний лазер; 2 – луч переднего лазера; 3 – измерительная ячейка; 4 – дисперсная среда, содержащая образец; 5 – рассеянное образцом лазерное излучение; 6 – детектор; 7 – задний лазер; 8 – луч заднего лазера

Рис. 2. Оптическая часть лазерного анализатора частиц Analysette-22 NanoTec

Для исследования частиц в анализаторе используется принцип сравнения лазерного излучения от образцов и объекта исследования. Нами использовалась модель Фраунгофера. Данная модель используется только для образцов с частицами крупнее 0,1 мкм (100 нм).

Обоснование полученных результатов. По результатам проведенного анализа определен гранулометрический состав представленных проб. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Гранулометрический состав пробы, % -ое содержание частиц определенного размера

Значение,%	размер частиц, мкм	Значение,%	размер частиц, мкм	Значение,%	размер частиц, мкм
5.0%	<= 19.285 мкм	10.0%	<=26.295мкм	15.0%	<=30.679мкм
20.0%	<=34.802мкм	25.0%	<=38.617мкм	30.0%	<=42.615мкм
35.0%	<=46.354мкм	40.0%	<=50.105мкм	45.0%	<=53.895мкм
50.0%	<=57.549мкм	55.0%	<=61.440мкм	60.0%	<=65.570мкм
65.0%	<=70.497мкм	70.0%	<=75.998мкм	75.0%	<=82.355мкм
80.0%	<=89.220мкм	85.0%	<=97.614мкм	90.0%	<=115.049мкм
95.0%	<=162.398мкм	99.0%	<=189.947мкм		

В таблице 1 фиксирован размер частиц, в результате получено, что частицы размером меньше или равно 115.049 мкм в пробе содержится около 90 %, а крупных частиц (более 115.049 мкм) 10%. Частицы такого размера являются опасными для здоровья человека, так как вызываю пневмокониозы, а при наличии пленки SiO_2 силикозы.

Седиментационный метод не дает ответа на вопрос, сколько в данной дисперсной системе находится частиц данного определенного размера; а лишь показывает процентное содержание частиц, имеющих размеры, находящиеся в интервале между одним радиусом и другим.

С целью более точной оценки параметров пыли: дисперсности и элементного состава использовался метод рентгенофазового анализа, при котором применялось следующее оборудовании:

1. Дифрактометр рентгеновский «ДРОН 04».
2. Дифрактометр рентгеновский «Радиан ДР-02».
3. Волновой рентгенофлуоресцентный спектрометр «Bruker S8 Tiger».

Изучение структуры пыли, образующейся на участках дробеструйном и удаления форм в процессе рентгеноспектрального микроанализа показало, что она, как правило, имеет преимущественно форму, позволяющую условно считать ее сферической. При падении частицы пыли всегда стремятся занять положение, соответствующее наибольшему сопротивлению в воздухе, эта форма способствует их оседанию в атмосфере и в инерционных пылеуловителях. Однако, наличие частиц размером менее 10 мкм говорит о их значительном времени оседания и необходимости высокоэффективных систем доочистки воздуха. В результате получено 86.2 % пробы меньше 100 мкм, 13,8% составляют тяжелые частицы размером более 100 мкм. Частицы такого размера являются опасными для здоровья человека, так как вызываю пневмокониозы, а при наличии пленки SiO2 силикозы [5,6].

Спектрометры обеих разновидностей являются приставками к сканирующему электронному микроскопу. Количественный анализ основан на сравнении интенсивности характеристического рентгеновского излучения от исследуемого образца и эталонов стандартных образцов известного состава.

Результаты расчёта концентраций и абсолютных случайных погрешностей выводились на дисплей и печатающее устройство.

В процессе эксперимента проводился оперативный контроль погрешности результатов измерений по каждому из химических элементов.

Контроль осуществляется посредством оценки концентраций элементов в имеющихся эталонах. Первоначально был выполнен анализ для определение фазового состава вещества с помощью дифрактометра ДРОН 04 при CoKα-излучении (1,789Å) в диапазоне углов 2Θ (10-110)° при U=29кВ, I=26мА. В таблице 2 и на рис.3 представлен рентгеноспектральный ирентгенофазовый анализ пыли уловленной от участка дробеструйной обработки литья.

Таблица 2. Данные рентгеноспектрального анализа образца на оборудовании «Bruker S8 Tiger»

Имя образца	Na (%)	Al (%)	Si (%)	S (%)	Cl (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Ga (%)	Zr (%)	Mo (%)	Ce (%)
Пыль от дробеструйных установок	0.141	21.295	27.94	0.04	0.056	0.183	0.143	0.095	0.511	0.712	48.535	0.139	0.05	0.014	0.022	0.014	0.072	0.038

Проявление большого количества рефлексов указывает на наличие нескольких фаз в образце. Для определения фаз использовалась база данных дифракционных измерений “PDF-2012”. Из-за большого количества возможных элементов и фаз был использован рентгеноспектральный анализ для уменьшения возможных вариантов фаз образца. Съёмка осуществлялась два раза на дифрактометре Радиан ДР-02 с функцией рентгенофлуоресцентного анализа.

Рентгеноспектральный анализ указал на наличие фазы железа (Fe), титана (Ti) и хрома (Cr). Фаза железа (Fe) преобладает (78%). В связи с отсутствием возможности определения более «легких» элементов на дифрактометре «Радиан ДР-02», рентгеноспектральный анализ повторно был проведен на волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре «Bruker S8 Tiger» в ЦКП НО ВГУ.

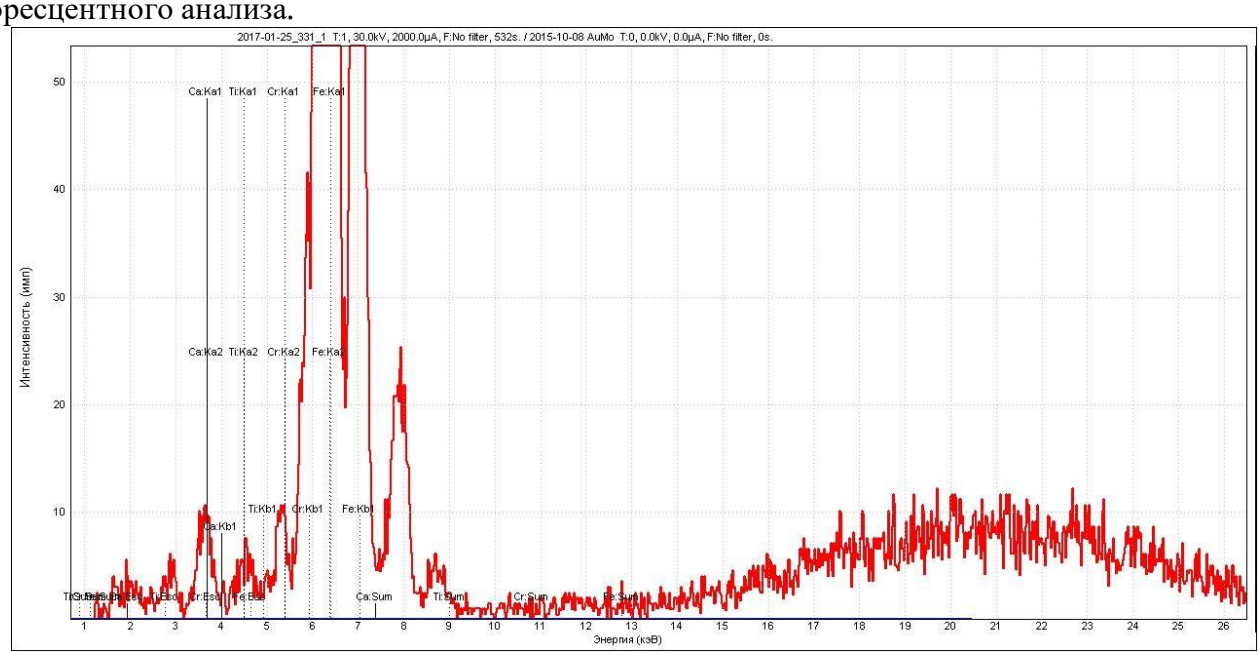


Рис.3. Рентгеноспектральный анализ образца на дифрактометре «Радиан ДР-02»

Рентгеноспектральный анализ показал более точное процентное соотношение элементов в образце. Наличие Al, Si, Cr, Fe уменьшает поиски в базе данных “PDF-2012” по фазовому анализу. Выявить фазы оксидов возможно только с помощью метода рентгенофазового анализа. Остальные элементы имеют малое процентное значение.

Результаты анализа показывают, что в литейных цехах имеет место наличие дисперсной пыли менее 10 мкм, при этом на дробеструйном участке в пыли присутствует 78% железа (Fe). Также анализ концентрации пыли в рабочей зоне оператора выявил значительные превышения ПДК рабочей зоны. Проведена оценка дисперсного состава пыли, который показала большое количество мелкодисперсной пыли (менее 10 мкм) 86,2%.

Кроме пыли в выбросах литейных цехов присутствуют вредные газы: окислы серы (SO_2, SO_3), Окислы азота (NO_2, NO) Окислы углерода CO и CO_2 , Фенол (C_6H_5OH), Формальдегид (HCHO), Бенз(а)пирен ($C_{20}H_{12}$).

Нестабильность результатов оценки параметров пыли методом Фигуровского потребовала использования более точных методов с помощью дифрактометра.

Выводы.

1. Изучение структуры пыли, образующейся на дробеструйном участках в процессе дисперсного (гранулометрического) анализа показало, при дроблении 86,2 % выделяемой пыли имеет размер фракций менее 100 мкм, т.е. относится к средней и тонкой пыли, имеющей скорость оседания менее 7 см/с.

2. Установлено, что содержание железа (Fe) составляет 78% в элементном составе всей пыли, что связано с обработкой отливок железной дробью. Уточнение фазового состава на втором этапе исследований проводилось с помощью дифрактометра Радиан ДР-02 и базы данных дифракционных измерений “PDF-2012”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдин, А.Н. Литейное производство с точки зрения экологии / А.Н. Болдин // Литейное производство. – 2005. - № 3. - с. 33-34.
2. Головина Е.И. Опасные и вредные факторы литейного производства и их влияние на состояние атмосферы в рабочей зоне / Вестник технологического университета / – 2016. – Т.19, № 23 – С. 126–131.
3. Головина Е.И., Манохин В.Я., Иванова И.А. Оценка опасных факторов литейного производства / Комплексные проблемы техносферной безопасности - материалы Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 170–173.
4. Иванова И.А. Определение коэффициента экологической опасности литейного производства / И.А.Иванова // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т.10, №3 (46). – С. 406–409.
5. Иванова И.А. Оценка дисперсного состава пыли участка черного литья / И.А. Иванова, В.Я. Манохин // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т.10, №2 (45). – С. 200–204.
6. Иванова И.А., Манохин В.Я., Головина Е.И. Оценка запыленности рабочей зоны дробеструйного участка и выбивных решеток литейного производства Комплексные проблемы техносферной безопасности - материалы XI Международной научно-практической конференции. г. Воронеж, 2015.
7. Трухов Ю.А. Технология литейного производства: литье в песчаные формы / А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М. Ю. Ершов; под ред. А.П. Трухова. – М.: Академия, 2005. – 524 с.

DISPERSION ANALYSIS AND ELEMENT COMPOSITION OF DUST FROM BLAST MACHINES FOUNDRY

E. I. Golovina, I. A. Ivanova, V. Y. Manohin

Golovina Elena Ivanovna, Voronezh state technical University, deputy dean for academic affairs faculty of engineering systems in construction, e-mail: u00111@vgasu.vrn.ru.

Ivanova Irina Aleksandrovna, Voronezh state technical University? ph. d.,associate professor of fire and industrial safety, e-mail: ivanova-eco@mail.ru.

Manokhin Vyacheslav Yakovlevich, Voronezh State Technical University, doctor of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: manohinprof@mail.ru.

ABSTRACT

Industrial safety foundry connected with the principles of biospheric compatibility of the system "man – production object – environment". Dangerous and harmful factors of the foundry are high concentrations of dust and harmful gases emitted at different stages of the process. Particulate and elemental compositions of dust determine the hygienic condition of the working area of the foundry. According to experts, the presence in the air of dust smaller than 10 μm increases the danger of getting occupational diseases such as pneumoconiosis (silicosis), bronchitis, dermatitis, conjunctivitis. Determination of granulometric composition of given sample of powder produced by the method of laser diffraction, implemented on a laser particle analyzer Fritsch NanoTec "ANALISETTE 22".

Keywords: working zone, dispersion, dust concentrations, elemental composition of the foundry.

REFERENCES

1. Boldin, A. N. The foundry from the point of view of ecology / A. N. Boldin // Foundry production. – 2005. - No. 3. - pp. 33-34.
2. Golovina E. I. Dangerous and harmful factors of the foundry and their impact on the state of the atmosphere in the working area / Bulletin of technological University in 2016. – Vol. 19, No. 23 Pp. 126-131.
3. Golovina E. I., Manokhin V. Ya., Ivanova I. A. Assessment of hazards foundry / Comprehensive problems of technosphere safety - materials of International scientific-practical conference. – 2016. – S. 170-173.
4. Ivanova I. A. determination of the coefficient of ecological danger foundry / I. A. Ivanov // Herald DGTU. – 2010. – Vol. 10, No. 3 (46). – S. 406-409.
5. Ivanova I. A. Estimation of disperse composition of dust section of the black casting / I. A. Ivanov, V. I. Manokhin // Herald DGTU. – 2010. – Vol. 10, No. 2 (45). – S. 200-204.
6. Ivanova I. A., Manokhin V. J., Golovina, E. I., assessment of the dustiness of the working area of the blast site and kick gratings foundry Complex problems of technosphere safety - proceedings of the XI International scientific-practical conference. Voronezh, 2015.
7. Trunov Yu. a. foundry Technology: sand casting / Trunov A. P., Y. A. Sorokin, M. Yu. Ershov; ed. by A. P. Trunova. – M.: Academy, 2005. – 524 p.

УДК 691.327

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

Д. А. Савушкин, И. В. Михневич, С. Д. Николенко

Савушкин Денис Александрович, Воронежский государственный технический университет, студент группы Б1241
Михневич Игорь Викторович, Воронежский государственный технический университет, заведующий лабораторией кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: mihnevich@vgasu.vrn.ru
Николенко Сергей Дмитриевич, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

При пожаре возникают температурные поля, которые в зависимости от интенсивности пожара по-разному воздействуют на материал строительных конструкций. В разных технических источниках приводятся различные сведения о температуре, при которой прочность бетона не снижается. В работе приведены результаты экспериментальных исследований кубов из мелкозернистого бетона на сжатие после температурного воздействия. Результаты сравнены с результатами испытанием кубов на сжатие без после температурного воздействия. Установлено, что кубы мелкозернистого бетона принятого состава, подвергнутые тепловому воздействию температурой 2000С имеют пониженную прочность на сжатие по сравнению с мелкозернистым бетоном аналогичного состава. Приведены рекомендации по практическому применению результатов исследования.

Ключевые слова: строительные конструкции, тепловое поле, прочность бетона.

Введение. При пожаре на материал строительных конструкций оказывается тепловое воздействие. В настоящее время одним из основных материалов строительных конструкций является бетон. В зависимости от удаления источника возгорания, величины пожарной нагрузки и интенсивности пожара на бетон оказывается тепловое воздействие различного уровня. При одних температурных воздействиях бетон сохраняет свою прочность неизменной. При других температурных воздействиях прочность бетона снижается. В разных научных источниках приводятся разные значения температуры теплового воздействия, при которых прочностные характеристики бетона не снижаются. [1] В частности, есть информация, что при температуре воздействия 200-250^{0}С прочностные показатели бетона не изменяются.

Исходя из вышеизложенного была поставлена цель исследования оценить экспериментально прочностные характеристики мелкозернистого бетона после воздействия на него относительно высоких температур и сравнить эти показатели с мелкозернистым бетоном не подвергнутом тепловому воздействию.

Исследуемые образцы. Для проведения экспериментального исследования были изготовлены образцы бетона в виде кубов размером 100х100х100 мм из цементно-песчаной смеси, при соотношении Ц:П=1:3 и водоцементном соотношении 0,4. В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ПЦ-500, а в качестве заполнителя песок, просеянный через сито №5.

Изготовление контрольных образцов и их испытания проводилось согласно ГОСТ 10180-2012 и ГОСТ 28570-90 [2, 3]. Все образцы изготавливались из одного замеса. Кубы хранились в течении 28 суток в нормальных условиях. Затем полученные образцы были вынуты из формы и промаркированы (рис.1).

© Савушкин Д. А., Михневич И. В., Николенко С. Д., 2017

Рис. 1. Вид образцов с маркировкой: где Б – образцы для тепловой обработки, БН – контрольные образцы

Перед испытанием на сжатие часть образцов подверглась тепловому воздействию. Нагревание образцов проводилось в муфельной печи "Снол" (рис. 3). Кубы закладывались в муфельную печь одновременно 3 штуки. Нагревание проводилось при температуре 200^0С в течение 30 минут. После прогрева образцы выдерживались при комнатной температуре в течение суток.

Методика и результаты испытаний.

Непосредственно перед испытанием, образцы были визуально осмотрены, обмерены и взвешены. Осмотр не выявил явных дефектов, таких как трещины, околы ребер, раковины. Обмер был произведен при помощи штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Затем образцы были взвешены на лабораторных весах AND DL-3000WP с точностью 0,01г. Результаты измерений приведены в таблице.

Таблица 1. Результаты измерений образцов

№ п/п	Наименование	Размер, мм	Вес, г	Удельный вес, г/мм^3
1	Б1	100,4х99,5	2098,0	0,0021
2	Б2	100,8х100,9	2091,0	0,0021
3	Б3	101х101	2137,9	0,0021
4	БН1	100,5х98	2110,8	0,0021
5	БН2	101,3х102, 2	2148,6	0,0021
6	БН3	100х99,5	2103,6	0,0021

Испытания проводились в Центре коллективного пользования ВГТУ, аттестованном в Госстандарте РФ. Для проведения испытаний использовалась универсальная 4-х колонная напольная гидравлическая испытательная система Инстрон модель 1500HDX (рис.2), позволяющая производить испытания на сжатие с усилиями до 1500 кН.

Рис. 2. Вид универсальной 4-х колонной напольной гидравлической испытательной системы Инстрон модель 1500HDX

Рис. 3. Вид муфельной печи «Снол»

Образцы испытывались на сжатие с постоянной скорость деформирования равной 1 мм/мин. Для наглядного изображения результатов испытания были построены графики зависимости перемещения от нагрузки (рис. 4,5).

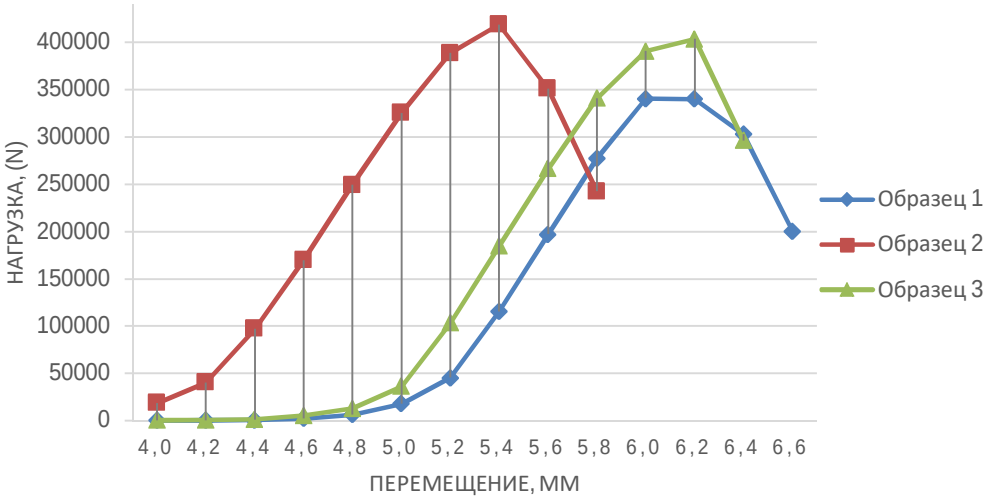


Рис. 4. График испытания образцов мелкозернистого бетона

Результаты испытаний образцов из мелкозернистого бетона показали, что образец под номером 2 выдержал нагрузку равную 417,77 кПа, что является максимальным показателем среди всех образцов. Следует отметить, что все образцы имеют схожий характер поведения при нагружении, возрастание нагрузки происходит по одной траектории близкой к прямой, однако максимальное значение нагрузки различно и образец под номером 1 показал худший результат по прочности.

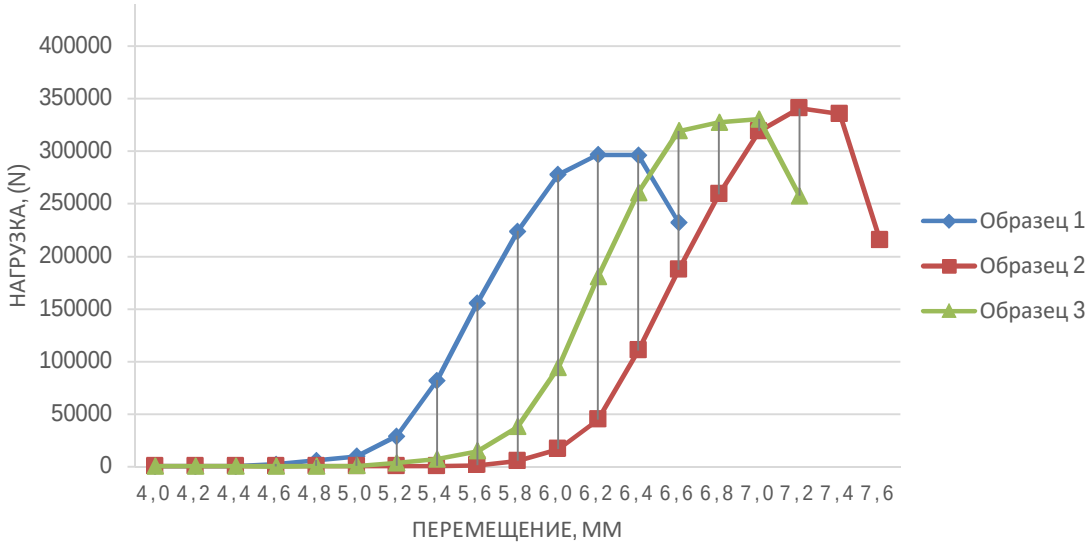


Рис. 5. График испытания образцов мелкозернистого бетона подвергнутых тепловой обработке

Результаты испытаний образцов из мелкозернистого бетона подвергнутого предварительно тепловому воздействию показали, что образец под номером 2 выдержал нагрузку равную 343,41 кПа, что является максимальной для данной серии образцов.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что образцы подверженные тепловому воздействию выдерживают меньшую нагрузку (рис. 6). На графике образцы без тепловой обработки обозначены БН.

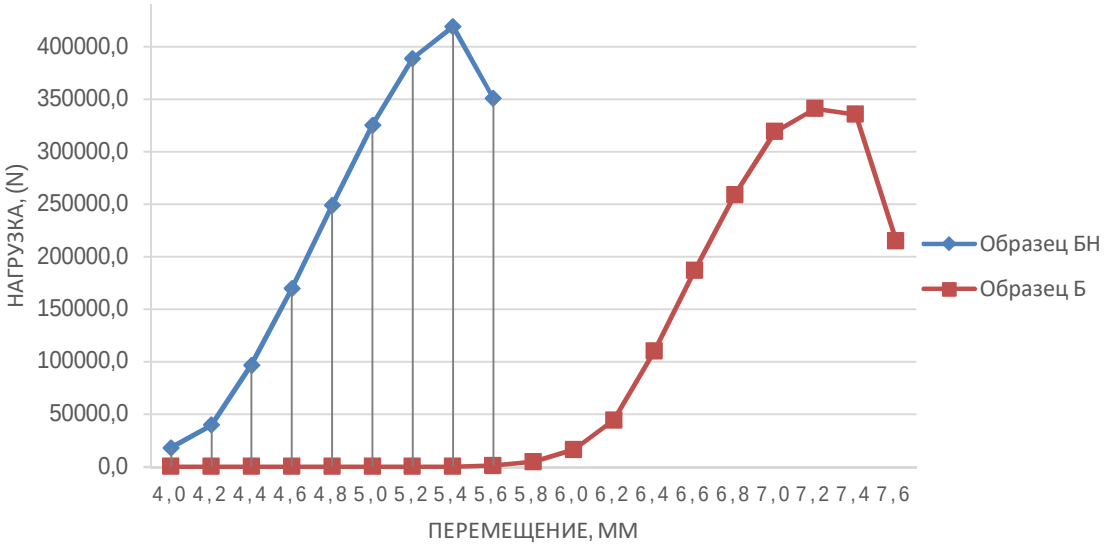


Рис. 6. Сравнительный график испытаний образцов

Визуальные наблюдения. В ходе испытаний проводились визуальные наблюдения за поведением образцов при испытании. После потери образцами несущей способности все образцы фотографировались. Разрушение всех образцов происходило практически одинаково. После испытаний образцы бетона не подверженного тепловому воздействию извлекались из испытательной системы и, несмотря на частичное осыпание материала у мест разрушения, продолжали сохранять форму. Образцы бетона подверженного тепловому воздействию практически рассыпались.

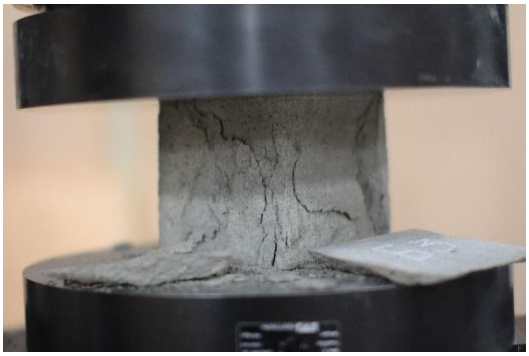


Рис. 7. Вид образца мелкозернистого бетона подверженного тепловой обработке после испытания

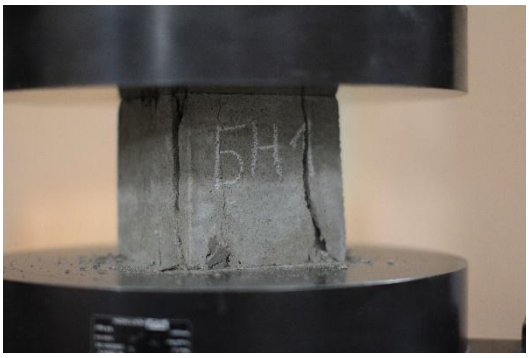


Рис. 8. Вид образца мелкозернистого бетона после испытания

Выводы. 1. Проведено сравнительное экспериментальное исследование образцов в виде кубов из мелкозернистого бетона, подвергнутого тепловому воздействию температурой 200^0С и мелкозернистого бетона, не подвергнутого тепловому воздействию при сжатии.

2. В результате установлено, что наибольшую нагрузку выдерживают образцы из мелкозернистого бетона, не подвергнутого тепловому воздействию. Они выдерживают нагрузку на 22 % большую, чем образцы из мелкозернистого бетона, подвергнутого тепловому воздействию.

3. Исходя из результатов испытаний, можно рекомендовать, в качестве практического применения, мелкозернистый бетон в качестве заполнителя межоболочного пространства быстровозводимых сооружений на базе пневматической опалубки [4, 5, 6, 7]. Так как для сооружения, находящегося на открытом пространстве достижение наружных температур вокруг него выше 200^0С практически не реально. Снижение же прочности на 22% некритично для временного сооружения находящегося в зоне чрезвычайной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков, В. В. Свойства тяжелого бетона после пожара / В. В. Жуков; А. А, Гусев // Бетон и железобетон избранные статьи 1984. – 1984.
2. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст];
3. ГОСТ 28570-90 Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.
4. Николенко, С.Д. Разработка конструкций пневматических опалубок./С.Д.Николенко, И.В.Михневич // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2014. № 2 (15). - С. 18-22.
5. Михневич, И.В., Использование заполнителей в быстровозводимых сооружениях на основе пневмоопалубки / И.В.Михневич, С.Д.Николенко, Д.А.Казаков // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2015. № 3. – С. 39 – 45.
6. Михневич И.В., Николенко С.Д., Черемисин А.В. Сравнительное исследование характеристик материалов, применяемых в быстровозводимых сооружениях. Научный журнал строительства и архитектуры. 2016. № 1 (41). С. 48-55.
7. Николенко С.Д., Молодая А.С. Планирование исследований поведения мелкозернистого и дисперсноармированного бетона при температурных воздействиях. Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. № 2 (23). С. 52-59.
8. Михневич И.В., Николенко С.Д. Быстровозводимое сооружение на базе пневматической опалубки. Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2016. № 1 (18). С. 40-44.

INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONCRETE THERMAL EXPOSURE IN FIRE

D. A. Savushkin, I. V. Mikhnevich, S. D. Nikolenko

Savushkin Denis Aleksandrovich, Voronezh state technical University, student group B1241
Mikhnevich Igor Viktorovich, Voronezh state technical University, head of laboratory of the department of fire and industrial safety, e-mail: mihnevich@vgasu.vrn.ru
Nikolenko Sergey Dmitrievich, Voronezh State Technical University, candidate of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

ABSTRACT

In case of fire, there are temperature fields, which, depending on the intensity of the fire impact differently on the material of building structures. In different technical sources provide different information about the temperature at which the strength of concrete is not reduced. The paper presents the results of experimental studies of cubic meters of fine-grained concrete in compression after thermal effects. The results are compared with the results of the test cubes in compression without thermal effects. Found that Cuba fine-grained concrete of the accepted composition subjected to thermal influence of the temperature 2000C have lower compressive strength compared to fine-grained concrete of similar composition. Provides guidance on the practical application of research results.

Keywords: building structures, thermal field, strength of concrete

REFERENCES

1. Zhukov, V. V. Properties of heavy concrete after fire / Vladimir Zhukov; A. A. Gusev // concrete and reinforced Concrete selected papers 1984. – 1984.
2. GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining the strength of control samples [Text];

3. GOST 28570-90 strength determination Methods on samples taken from structures.
4. Nikolenko, S. D. Development of construction of pneumatic tires./S. D. Nikolenko, I. V. Mikhnevich// Scientific journal. Engineering systems and structures. - 2014. № 2 (15). - S. 18-22.
5. Mikhnevich, I. V., the Use of fillers in the pre-fabricated buildings on the basis of pneumology / I. V. Mikhnevich, S. D. Nikolenko, D. A. Kazakov // Scientific Herald of the Voronezh GASU. Building and architecture. – 2015. No. 3. – P. 39 – 45.
6. Mikhnevich, I. V., Nikolenko S. D., Cheremisin A. V. the Comparative study of the characteristics of the materials used in prefabricated structures. Scientific journal of civil engineering and architecture. 2016. No. 1 (41). S. 48-55.
7. Nikolenko, S. D., Young A. S. research Planning behavior of fine-grained and dispersionnogo of concrete under temperature influences. The scientific journal. Engineering systems and structures. 2016. No. 2 (23). Pp. 52-59.
8. Mikhnevich, I. V., Nikolenko S. D. pre-Fabricated structure on the basis of the pneumatic formwork. Bulletin of Voronezh Institute of state fire service of EMERCOM of Russia. 2016. No. 1 (18). S. 40-44.

УДК 691

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

А. С. Лоскутов, С. Д. Николенко

Лоскутов Андрей Сергеевич, Воронежский государственный технический университет, магистрант группы 152, e-mail: andrewloskkutow@gmail.com.
Николенко Сергей Дмитриевич, Воронежский государственный технический университет, к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

Одно из важных свойств полов промышленных зданий устойчивость к ударным воздействиям в случае аварийного падения предметов. Для обеспечения таких свойств применяют дисперсное армирование бетонов пола промышленных зданий и сооружений. В исследовании оценивается влияние дисперсного армирования на качество бетонных плитных конструкций после ударных воздействий. Проведено сравнение с конструкциями имеющими армирование стержневой арматурой.
Ключевые слова: промышленные полы, ударное воздействие, дисперсное армирование, стальная фибра.

Введение. Ударные воздействия на бетонные конструкции часто происходят в промышленных зданиях и сооружениях. В частности таким воздействиям подвергаются полы этих зданий и сооружений. При этом мы понимаем, что пол эксплуатируется «промышленным» способом. А именно, пол подвергается различным физико-механическим воздействиям и, соответственно, должен отвечать определенному набору эксплуатационных требований. Основные из этих требований:

прочность на изгиб, растяжение и сжатие;

износостойкость и устойчивость к ударам;

устойчивость к перепадам температуры и воздействию влаги.

Возможный вариант конструкции пола промышленного здания представлен на рис. 1. Состав и вид покрытия зависит от назначения пола и требований к его поверхности и на целостность пола при ударных воздействиях влияния практически не оказывает. Основным несущим элементом пола является армированный бетон. Именно он воспринимает ударные воздействия обеспечивая целостность пола.

Вопрос улучшения качества пола при аварийных ударных воздействиях является весьма актуальным.

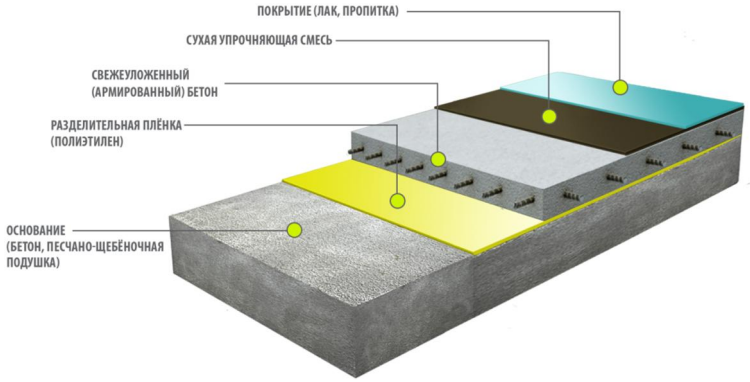


Рис. 1. Схема конструкции пола промышленного здания (вариант)

В настоящее время в нашей стране, для армирования различных конструкций, все чаще применяют дисперсное армирование[1,2,3,4,5]. В последнее время в качестве

© Лоскутов А. С., Николенко С. Д., 2017

армирования стяжки промышленных полов, подверженных высокой и сверхвысокой нагрузке применяется дисперсное армирование[6].

Целью исследования являлась экспериментальная оценка влияния дисперсного армирования на прочностные и деформативные качества плитных элементов при серии ударных воздействий.

Опытные образцы. Опытные образцы представляли собой плиту размером 400х400х35 мм. Плиты изготавливались из мелкозернистого бетона со средней прочностью при сжатии $R_{сж}$ = 29,9 МПа, при коэффициенте вариации бетона по прочности $C_v \leq$ 9%.

Все плиты состояли из 4 серий по 3 образца в каждой. Первая серия плит была изготовлена из неармированного бетона и являлась базовой, с которой шло сравнение остальных серий плит. Вторая серия плит была изготовлена с дисперсным армированием стальными фибрами марки FF3. Фибры имели следующие характеристики: длина 50 мм и диаметр 0,75мм (рис.2.). Расход фибры на 1 м^3 бетона составлял 70 кг (2,9% по весу).

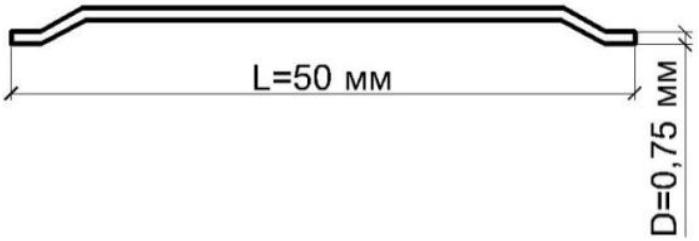


Рис. 2. Схема стальной фибры марки FF3

Во второй серии были дополнительно изготовлены образцы плит, для изучения поведения при ударной нагрузки одной интенсивности (с одинаковым значением работы).

Третья серия плит была изготовлена с дисперсным армированием стальными фибрами марки F30x0.8. Фибры имели следующие характеристики: длина 30 мм и диаметр 0,8 мм (рис.3.).

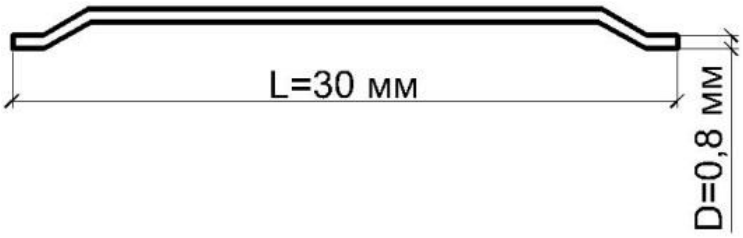
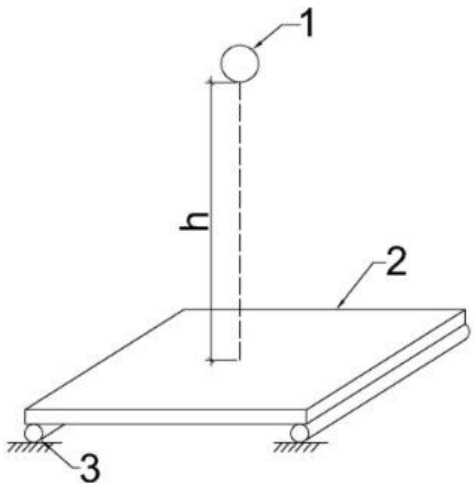


Рис. 3. Схема стальной фибры марки F30x0.8

Четвертая серия плит имела стержневое армирование. Сетка была изготовлена из стальной проволокой Ø2 мм с расстоянием между проволоками 20 мм.

Методика испытаний. Принята следующая методика испытания. Испытываемая плита опирается по двум сторонам на жесткие цилиндрические опоры. Шар массой 2,3 кг, поднятый на заданную высоту h, сбрасывается по центру плиты (рис. 4). Высота сбрасывания шара последовательно увеличивалась. После каждого испытания с помощью микроскопа («Мир-3»), определялась ширина раскрытия трещин в плите и оценивалось общее состояние плиты.



где 1 - стальной шар, 2 - испытываемая плита, 3 - опора

Рис. 4. Схема испытаний

Работа совершенная шаром при ударе, рассчитывалась по формуле:

$A = m \cdot h$,

где: m - масса шара, кг; h – высота сброса шара, м.

Результаты испытаний. Результаты испытаний бетонных плит на ударные воздействия представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний бетонных плит на ударные воздействия

№ удара	Работа при ударе, кг·м	Величина раскрытия трещин, мм*	Оценка состояния плит
1	0,23	-	Трещин не наблюдается
2	0,46	-	Трещин не наблюдается
3	0,69	0,1	Трещины на тыльной стороне плит
4	0,92	1,0	Плиты разрушились

*Здесь и в дальнейшем приведена максимальная величина раскрытия трещин

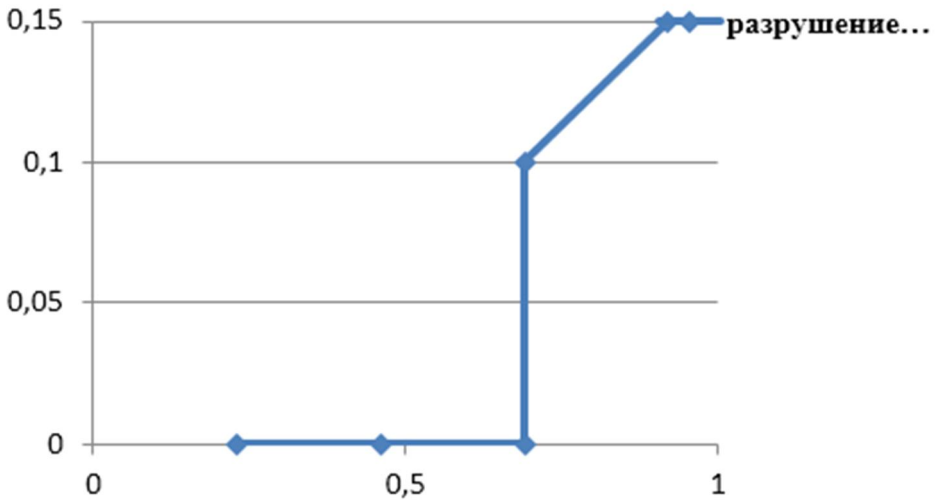


Рис. 5. Динамика образования и раскрытия трещин в бетонных плитах

При повторном ударе с величиной работы А=0,69 кг·м, зафиксировано разрушение одной из плит. Остальные плиты разрушились при величине работы А=0,92кг·м. Результаты испытаний бетонных плит подтверждают известный факт «хрупкого» разрушения и не высокую стойкость бетона при ударной нагрузке. Полученные данные рассматривались нами, как базовые для оценки стойкости остальных плит ударным нагрузкам.

Следующие испытания были проведены с плитами, имеющими только фибровое армирование. Результаты испытаний плит армированных фибрами марки FF3 на ударные воздействия представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний плит армированных фибрами марки FF3 на ударные воздействия

№ удара	Работа при ударе, кг·м	Величина раскрытия трещин, мм	Оценка состояния плиты
1	0,92	-	Трещины не наблюдались
2	1,38	-	Трещины не наблюдались
3	1,84	0,06	Волосяные трещины на тыльной стороне плиты
4	2,3	0,4	Трещины на тыльной стороне плиты
5	2,76	0,66	Трещины на тыльной стороне плиты
6	3,45	2	Наблюдаются выколы бетона по линии трещин, и «оголение» фибр. Плита сохраняет свои геометрические размеры и форму.

Испытания показали, что трещины в испытанных плитах армированных фибрами марки FF3 появились при величине работы удара равной 1,86 кг·м, с ростом значения работы удара ширина раскрытия трещин возрастает по степенной зависимости. Эта величина в 2,7 раза превышает аналогичную у бетонных плит. Вместе с тем разрушение таких плит при максимальном раскрытии трещин не происходит. Плита при наличии сквозных трещин сохраняет свою форму и геометрию. При увеличении величины работы удара с А=1,84 кг·м по А=3,45 кг·м происходило увеличение числа трещин и постепенное их раскрытие. Динамика образования и раскрытия трещин представлена на графике (рис. 5).

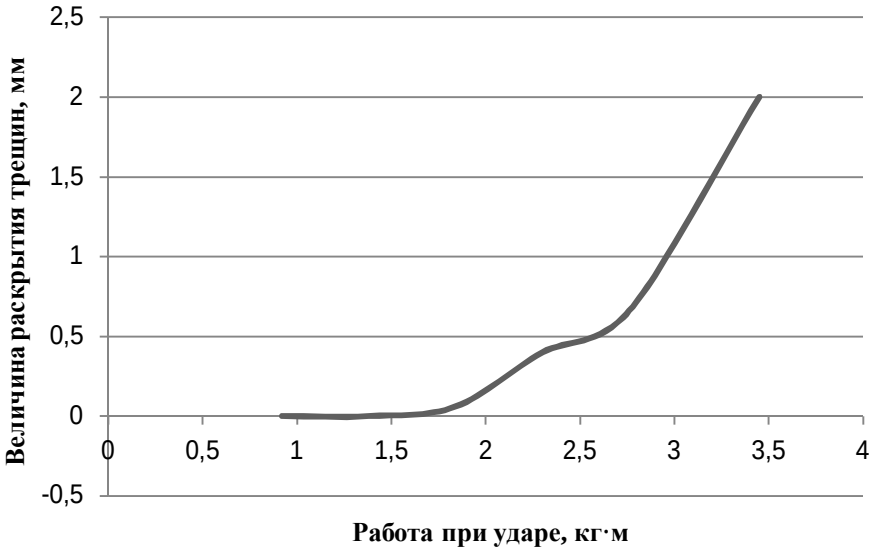


Рис. 6. Динамика образования и раскрытия трещин в плитах армированных фибрами марки FF3 после серии ударных воздействий

Для оценки поведения плит армированных фибрами марки FF3 при ударных воздействиях одной интенсивности. Были проведены испытании плит при последовательном многоразовом воздействии при работе удара вызывающем первичное трещинообразование A=1,84 кг·м и вызывающем максимальное раскрытие трещин A=3,45 кг·м (табл. 2). Результаты многоразовых плит испытаний при работе удара вызывающей первичное трещинообразование представлены в табл. 3 на графике (рис. 7).

Таблица 3. Результаты испытаний плит армированных фибрами марки FF3 после серии ударных воздействий вызывающих первичное трещинообразование

№ удара	Работа при ударе, кг·м	Величина раскрытия трещин, мм	Оценка состояния плиты
1	1,84	0,07	Волосяные трещины
2	1,84	0,1	Волосяные трещины
3	1,84	0,2	Трещины на тыльной стороне плиты

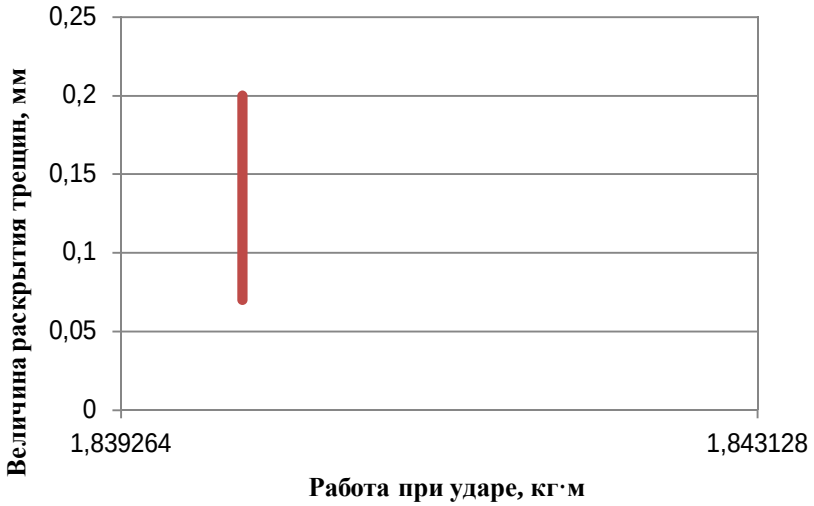


Рис. 7. Динамика раскрытия трещин в плитах армированных фибрами марки FF3 после серии ударных воздействий вызывающих первичное трещинообразование

В результате испытаний выявлено, что при неоднократном воздействии трещины увеличиваются с каждым ударом. Сквозные трещины появляются после третьего воздействия.

Результаты многоразовых испытаний плит при работе удара вызывающего максимальное раскрытие трещин представлены в табл. 4 и на графике (рис. 8).

Таблица 4. Результаты испытаний плит армированных фибрами марки FF3 после ударных воздействий вызывающих максимальное раскрытие трещин

№ удара	Работа при ударе, кг·м	Величина раскрытия трещин, мм	Оценка состояния плиты
1	3,45	0,17	Трещины на тыльной стороне плиты
2	3,45	0,33	Трещины на тыльной стороне плиты
3	3,45	0,8	Трещины с выколами бетона и обнажением фибры

Результаты испытаний показали, что при неоднократных ударных воздействиях вызывающих максимальное раскрытие трещин, плиты армированные фибрами марки FF3 не теряют несущую способность.

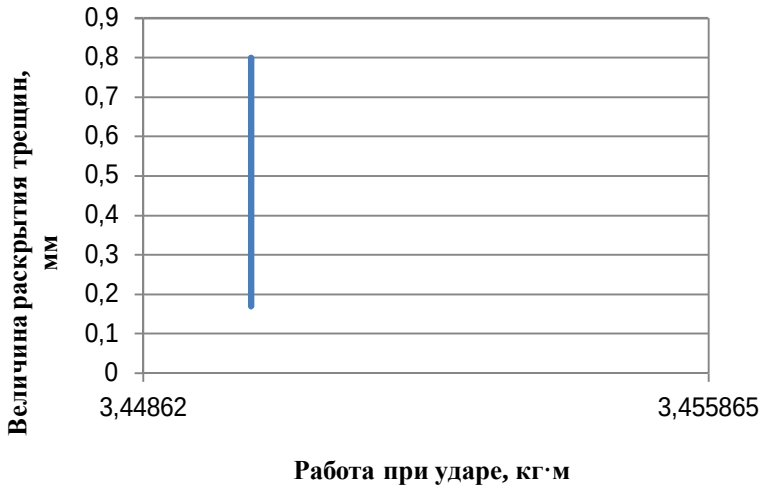


Рис. 8. Динамика раскрытия трещин в плитах армированных фибрами марки FF3 после ударных воздействий вызывающих максимальное раскрытие трещин

Для сравнения поведения плитных конструкций армированных фибрами с разными геометрическими параметрами были проведены испытания конструкций армированных фибрами марки F30x0.8. Результаты испытаний плит армированных фибрами марки F30x0.8 на ударные воздействия представлены в табл. 5 на графике (рис. 9).

Таблица 5. Результаты испытаний плит армированных фибрами марки F30x0.8 после ударных воздействий

№ удара	Работа при ударе, кг·м	Величина раскрытия трещин, мм	Оценка состояния плиты
1	0,92	-	Трещин не наблюдается
2	1,38	0,06	Волосяные трещины
3	1,84	0,47	Трещины на тыльной стороне плиты
4	2,76	5	Выколы бетона, обнажилась фибра, плита сломалась

Испытания показали, что плиты теряют несущую способность при величине работы при ударе в 3 раза большей, чем бетонные плиты. Величина работы при которой появились первые трещины в 2 раза больше, чем у бетонных плит.

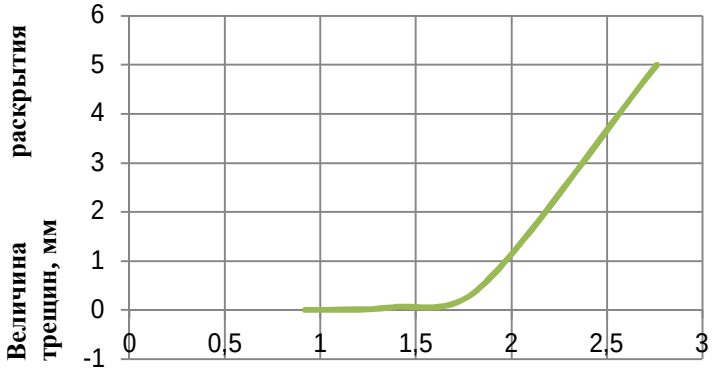


Рис. 9. Динамика образования и раскрытия трещин в плитах армированных фибрами марки F30x0.8 после ударных воздействий

Для более корректного сравнения были проведены испытания на ударные воздействия плит армированных сеткой. Результаты испытаний представлены в табл. 6 и на графике (рис. 10)

Таблица 6. Результаты испытаний плиты, армированной сеткой

№ удара	Работа при ударе, кг·м	Величина раскрытия трещин, мм	Оценка состояния плиты
1	1,38	-	Трещины не наблюдались
2	1,84	0,067	Волосяные трещины
3	2,76	0,17	Волосяные трещины
4	3,45	0,27	Трещины, большие выколы бетона диметром до 3 см, глубиной 5 мм.
5	4,6	4	Обнажилась арматура, кольцевой выкол бетона диаметром 130 мм

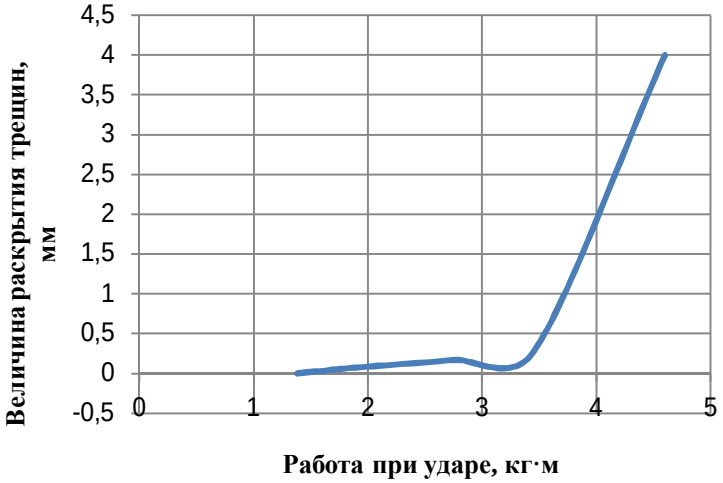


Рис.10. Динамика образования и раскрытия трещин в плитах, армированных сеткой

Выводы. Проведенные исследование показали, что дисперсионное армирование стальной фиброй повышает качество качество бетонных плитных конструкций после ударных воздействий. В частности трещиностойкость плит. При этом эффект от дисперсного армирования зависит от технологии приготовления фибробетона [7] и как следствие от равномерности распределения фибр в конструкции [8]. Для несущей способности плиты опертых на две опоры определяющим является стержневое армирование.

Испытание плитных элементов проводилось при открытой нижней поверхности. В промышленных полах плита опирается на прочное основание. Поэтому расход фибры может быть понижен ориентировочно на 40-45% до 40 кг/м^3 и снижено или вообще исключено стержневое армирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М., 2004. 560с.
2. Николенко С.Д. Применение фибрового армирования в зданиях и сооружениях, расположенных в сейсмоопасных районах. В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях, межвузовский сборник научных трудов. Воронежский государственный технический университет, Международная академия наук экологии безопасности человека и природы; В. И. Федянин - ответственный редактор. Воронеж, 2006. С. 38-46.
3. Николенко С.Д., Кондратьев Н.А. Расчет сталефибробетонной балки на действие ударной нагрузки. Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2015. № 3 (20). С. 84-88.

4. РТМ – 17 – 03 – 2005. Руководящие технические материалы по проектированию, изготовлению и применению сталефибробетонных конструкций на фибре из стальной проволоки. М., 2005. 79 с.
5. СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции. М., 2007. 68 с.
6. А. М. Горб. И. А. Войлоков. Применение композитов на основе дисперсно-армированных бетонов при устройстве полов в зданиях производственно-складского назначения. Мир строительства и недвижимости #33/2009. С. 29-33.
7. Николенко С.Д., Ткаченко А.Н., Федулов Д.В. Особенности технологических схем приготовления сталефибробетона. В сборнике: Наука и инновации в строительстве SIB - 2008 материалы международного конгресса. 2008. С. 543-547.
8. Tkachenko A.N., Nikolenko S.D., Fedulov D.V. Theoretical estimation of fiber distribution in fiber reinforced concretes. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2011. № 3. С. 36-41.

EVALUATION OF THE EFFECT OF PARTICULATE REINFORCEMENT ON THE QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES AFTER IMPAC

A. S. Loskutov, S. D. Nikolenko

Loskutov Andrey Sergeevich, Voronezh State Technical University, undergraduate group 152, e-mail: andrewloskkutow@gmail.com.
Nikolenko Sergey Dmitrievich, Voronezh State Technical University, candidate of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

ABSTRACT

One of the important properties of floors of industrial buildings resistance to impact in case of accidental fall of objects. To ensure such properties began to apply the disperse reinforcement of the concrete floor of industrial buildings and structures. This study assessed the effect of particulate reinforcement on the quality of the concrete slab structures after impact. A comparison with the structures having the reinforcement rod reinforcement.
Key words: industrial floors, shock influence, dispersible re-enforcement, steel fibre.

REFERENCES

1. Rabinovich F. N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, design. M., 2004. 560 p.
2. Nikolenko S.D., The use of fiber reinforcement in buildings and structures located in seismic areas. In the collection: Life support and emergency management systems, intercollegiate collection of scientific papers. Voronezh State Technical University, International Academy of Ecology of Human and Nature Safety; V.I. Fedyanin is a responsible editor. Voronezh, 2006. pp. 38-46.
3. Nikolenko S.D., Kondratiev N.A. Calculation of the steel-fiber-reinforced concrete beam for impact loading. Science Magazine. Engineering systems and facilities. 2015. № 3 (20). pp. 84-88.
4. RTM – 17 – 03 – 2005. The use of composites based on dispersed-reinforced concrete for the installation of floors in buildings for industrial and storage purposes. The world of construction and real estate # 33/2009. pp. 29-33.
5. Set of rules 52-104-2006. Steel-fiber-reinforced concrete constructions. M., 2007. 68 p.
A. M. Gorb., I. A. Voilokov. The use of composites based on dispersed-reinforced concrete for the installation of floors in buildings for industrial and storage purposes. The world of construction and real estate # 33/2009. pp. 29-33.
6. Nikolenko S.D., Tkachenko A.N., Fedulov D.V. Features of technological schemes for the preparation of steel-fiber concrete. In the collection: Science and innovations in construction SIB - 2008 materials of the international congress. 2008. pp. 543-547.
7. Tkachenko A.N., Nikolenko S.D., Fedulov D.V. Theoretical estimation of fiber distribution in fiber reinforced concretes. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2011. № 3. pp. 36-41.

УДК 69.002.5

АНАЛИЗ АВАРИИ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА

И. В. Хромкина, С. Д. Николенко

Хромкина Ирина Владимировна, Воронежский государственный технический университет, магистрант группы 152, e-mail: khromkina.irina@yandex.ru

Николенко Сергей Дмитриевич, к.т.н., доцент, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности. Воронежский государственный технический университет, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

Обеспечение безопасности работы грузоподъемных кранов является важной задачей, учитывая их большое количество, применяемое в строительстве. Несмотря на достаточно строгий контроль за безопасной работой грузоподъемных кранов со стороны Ростехнадзора, аварии все таки происходят. Поэтому анализ аварий грузоподъемных кранов является актуальной задачей, для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации таких кранов. В работе рассмотрен анализ конкретной аварии гусеничного стрелового крана СКГ-40 на строительной площадке города Липецка. Рассмотрены причины аварии и приведен расчет объясняющий эти причины.

Ключевые слова: грузоподъемные краны, авария, устойчивость крана, безопасная эксплуатация грузоподъемных кранов.

Введение. В последнее время все большее количество грузоподъёмных кранов составляет парк подъемных сооружений. Например, на 1 июля 2015 года в государственном реестре опасных производственных объектов Российской Федерации зарегистрировано: 816 628 подъемных сооружений, в том числе 242 231- грузоподъемный кран: 19 653 башенных крана; 78 835 автомобильных кранов; 7 342 пневмоколесных крана; 11 159 гусеничных кранов. Практически 80 % всех перечисленных подъемных сооружений составляют крановое хозяйство строительного комплекса, в том числе на официальном балансе строительных организаций числится 18 986 кранов башенных, более 72 000 автомобильных кранов, почти 10 000 гусеничных кранов и 6 800 пневмоколесных кранов.

Согласно Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. №116-ФЗ, стационарно установленные грузоподъемные механизмы относятся к категории опасных производственных объектов. Поэтому в ходе строительства, необходим контроль за безопасностью работы грузоподъёмных кранов[1]. Целью исследования явился анализ аварии грузоподъемного крана на объекте строительства.

Описание аварии. Проанализируем аварию грузоподъемного крана произошедшую при строительстве храма в городе Липецк. Авария грузоподъёмного гусеничного крана СКГ-40, изготовленного в 1972 году Раменским механическим заводом, заводской №117, учётный №14124 (присваивается органами Ростехнадзора), произошла на строительной площадке расположенной по адресу: г. Липецк, ул. Адмирала Макарова, 20А. Кран принадлежит ООО «Липецкстальмеханизация».

Обстоятельства происшествия следующие: после выгрузки бетонной смеси в бадью, при попытке подъёма бадьи БН-0,75 с бетонной смесью, заводской номер № 125389 - 100, изготовленной 10.02.2013 г. (рис. 1), произошло падение гусеничного крана СКГ-40 (рис. 2).

© Хромкина И. В., Николенко С. Д., 2017

Рис. 1. Вид бадьи БН-0,75

Рис. 2. Вид крана СКГ-40 после аварии с двух сторон

В результате падения маневровый гусёк крана оперся на строящееся здание, и произошло разрушение гуська (рис. 3).

При обследовании использовалась соответствующая нормативно-техническая и методическая документация [2-10]. Так как ограничитель грузоподъёмности не сработал, возникла необходимость в проведении расчетов. В частности для выявления возможной причины опрокидывания крана был проведен поверочный расчет.

Рис. 3. Вид повреждения стрелового оборудования крана после аварии

Проверочный расчет. Положение центров тяжести элементов стрелового оборудования и их расстояние до опорного шарнира стрелы определены графоаналитическим методом (рис.4)

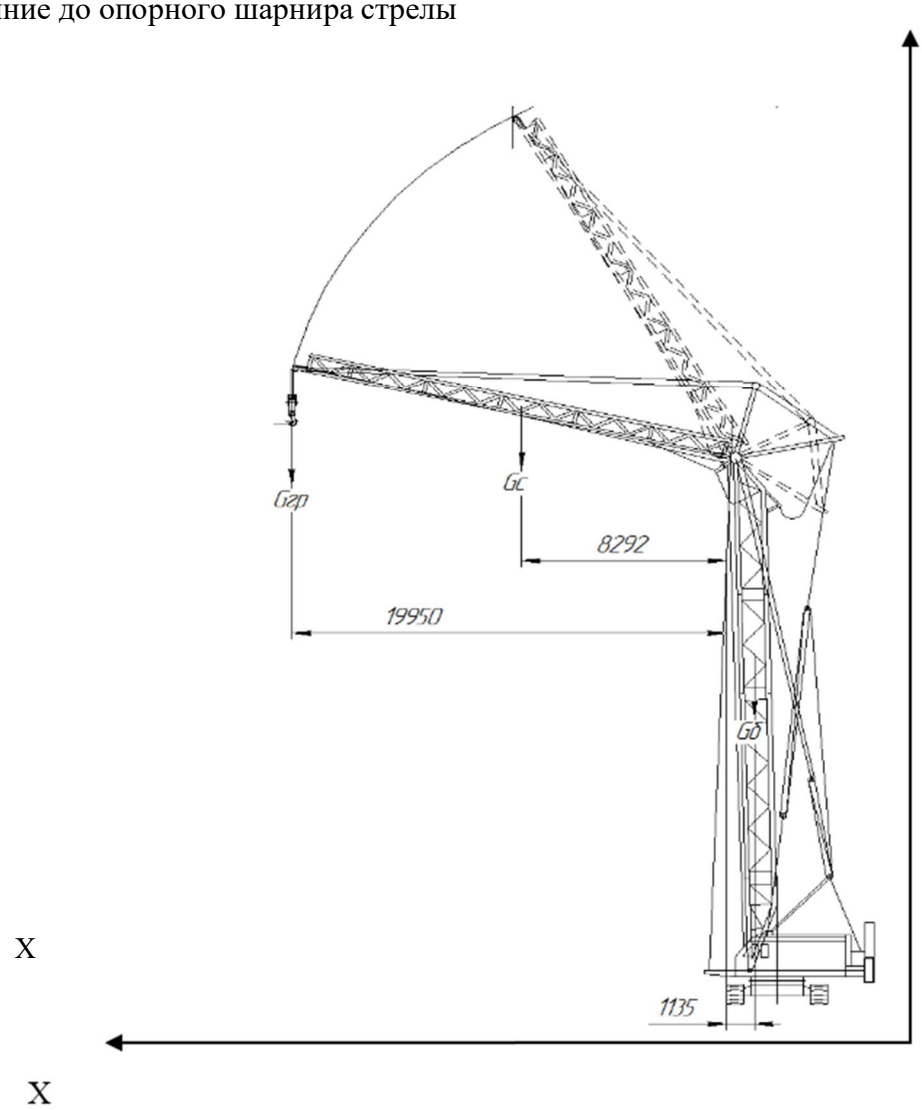


Рис. 4. Расчетная схема стрелового оборудования крана СКГ-40 до момента аварии

Оценка устойчивости крана на возможность его опрокидывания при запрокидывании стрелы на капот поворотной платформы определялась при положении стрелы вдоль и поперек продольной оси крана. При этом приняты следующие расчетные данные:

$G_б$- масса башни крана, равная 5990 кг;

$G_с$- масса маневрового гуська, равная 2995 кг;

$G_{гр}$- масса поднимаемого груза, равная 2195 кг.

$l_с$ – длина стрелы на максимальном вылете, равная 8,292 м;

$l_{гр}$ – среднее значение длины стрелы с данным грузом, равное 19,950 м;

$l_б$ –минимальное значение длины стрелы с данным грузом, равное 1,135 м.

Общая масса элементов стрелового оборудования крана составила 8985 кг (T_0= 8,985 т). Сумма статических моментов элементов стрелового оборудования с грузом относительно ребра опрокидывания ΣM_c по горизонтальной оси X определялась по формуле [7]:

$$\sum M_C = G_c \cdot l_c + G_{\text{гр}} \cdot l_{\text{гр}} - G_{\text{б}} \cdot l_{\text{б}} = 2{,}995 \cdot 8{,}292 + 2{,}195 \cdot 19{,}950 - 5{,}99 \cdot 1{,}135 =$$

75,423 тм.

Расстояние центра тяжести стрелового оборудования от ребра опрокидывания составило:

$$X = \sum M_c / T_0 = 75{,}423/8{,}985 = 8{,}4 \text{ м}.$$

Определение центра тяжести стрелы относительно ребра опрокидывания крана проводилось в положении, представленном на схеме (рис.5).

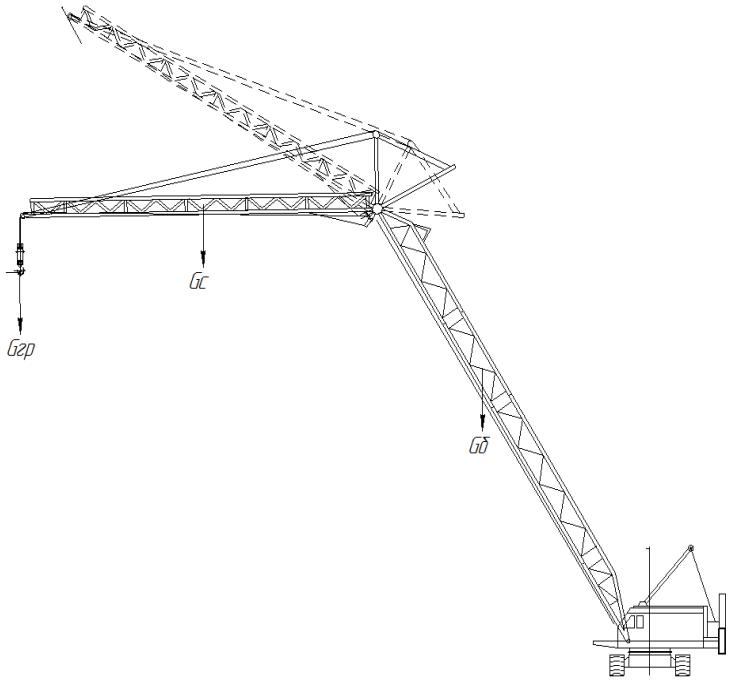


Рис. 5. Расчетная схема стрелового оборудования крана СКГ- 40 в момент аварии

Сумма статических моментов элементов стрелового оборудования с грузом относительно ребра опрокидывания ΣM_c по горизонтальной оси X после изменения угла наклона башни стрелового оборудования крана определялась по формуле:

$$\sum M_c = G_c \cdot l_{c1} + G_{\text{гр}} \cdot l_{\text{гр1}} + G_{\text{б}} \cdot l_{\text{б1}} = 2{,}995 \cdot 21{,}22 + 2{,}195 \cdot 30{,}451 + 5{,}99 \cdot 6{,}59 = 169 \text{ тм}.$$

В этом случае расстояние центра тяжести стрелового оборудования от ребра опрокидывания составило:

$$X = \sum M_c / T_0 = 169/8{,}985 = 18{,}9 \text{ м}.$$

Сумма статических моментов элементов стрелового оборудования с грузом относительно ребра опрокидывания в момент аварии в 1,21 раза превышала момент опрокидывания, указанный в паспорте крана (140 тм).

При определении коэффициента устойчивости крана учитывалось размещение механизмов крана на поворотной платформе. В расчете устойчивости крана учитывались следующие силы тяжести (рис. 6) согласно паспортным данным:

масса ходовой части М1= 18,2 т;
масса поворотной платформы в сборе ΣМ = 36,4 т;
масса дизель-генераторной установки М2 = 2,688 т;
масса контргруза основного М3= 10,5 т;
масса контргруза дополнительного М4 = 2,275 т;
масса лебедки главного подъема М5 = 2,8 т;
масса лебедки вспомогательного подъема М6 = 0,7 т;
масса лебедки стрелоподъемной М7 = 1,54 т;
масса механизма поворота М8= 0,56 т.

С учетом принятых масс механизмов на поворотной платформе масса металлоконструкции поворотной платформы с двуногой стойкой, общим капотом и кабиной крановщика принята М9 =16,1 т. Массы элементов крана на поворотной платформе, которые в паспорте крана не обозначены, приняты на основе средних значений масс известных элементов, сопоставимых по своим техническим характеристикам. При определении коэффициентов устойчивости также использованы графоаналитические методы.

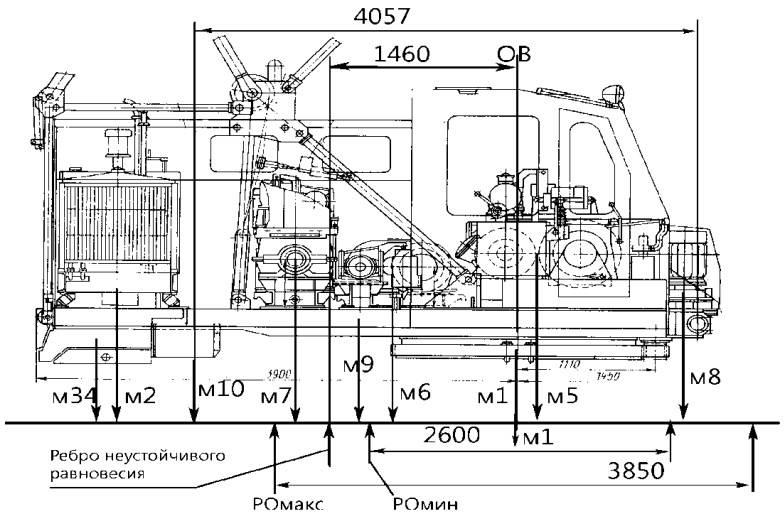


Рис. 6. Расчетная схема для определения коэффициента устойчивости крана СКГ-40

Величина удерживающего момента относительно наибольшего размера $РО_{макс}$ опорного контура по осям звездочек ходовой части определялась по формуле:

$$М_{уд} = М1 \cdot x_1 + М5 \cdot x_5 + М6 \cdot x_6 + М7 \cdot x_7 + М8 \cdot x_8 + М9 \cdot x_9 = 18{,}2 \cdot 1{,}925 + 2{,}8 \cdot 2{,}13 + 0{,}7 \cdot 0{,}954 + 1{,}54 \cdot 0{,}182 + 0{,}56 \cdot 3{,}253 + 16{,}1 \cdot 0{,}692 = 55{,}2 \text{ тм}.$$

Опрокидывающий момент определялся по формуле:

$$М_{опр} = M2 \cdot x_2 + M34 \cdot x_3 + M10 \cdot x_{10} = 2{,}688 \cdot 0{,}635 + 10{,}5 \cdot 1{,}421 + 7{,}851 \cdot 0{,}635 = 21{,}6 \text{ тм}.$$

Коэффициент запаса устойчивости от опрокидывания определялся по формуле:

$$К = M_{уд} / M_{опр} = 55{,}2 / 21{,}6 = 2{,}6.$$

Величина удерживающего момента относительно наименьшего размера $РО_{мин}$ опорного контура по линии качения опорных катков ходовой части определялась по формуле:

$$M_{уд2} = M1 \cdot x_{1M} + M5 \cdot x_{5M} + M6 \cdot x_{6M} + M8 \cdot x_{8M} = 13 \cdot 1{,}3 + 2 \cdot 1{,}95 + 0{,}5 \cdot 0{,}19 + 0{,}4 \cdot 2{,}655 = 20{,}8 \text{ тм}.$$

В этом случае опрокидывающий момент определялся по формуле:

$$M_{опр2} = M2 \cdot x_{2M} + M34 \cdot x_{3M} + M7 \cdot x_{7M} + M9 \cdot x_{9M} + M10 \cdot x_{10M} = 2{,}688 \cdot 2{,}019 + 10{,}5 \cdot 2{,}206 + 1{,}54 \cdot 0{,}505 + 16{,}1 \cdot 0{,}074 + 5{,}6 \cdot 1{,}42 = 32 \text{ тм}.$$

Коэффициент запаса устойчивости от опрокидывания минимальный определялся по формуле:

$$K_{мин} = M_{уд2} / M_{опр2} = 20{,}8 / 32 = 0{,}9.$$

Результат расчета. При вращении поворотной платформы крана переход за точку неустойчивого равновесия вызывает опрокидывание крана. Собственная устойчивость крана обеспечивалась в положении поворотная платформа вдоль ходового устройства и гарантировано терялась в положении поворотная платформа поперек ходового устройства с недопустимым углом наклона башни крана. При этом дальнейшее опрокидывание ходового устройства и поворотной платформы крана было остановлено в результате столкновения стрелового оборудования крана со строящимся зданием. При этом напряжения сжатия в поясах стрелы крана значительно превысили предельно допустимые, что привело к потере продольной устойчивости ветвей стрелового оборудования и его излому.

Выводы. На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

Вследствие неквалифицированных действий машиниста крана и неисправности ограничителя грузоподъёмности, опрокидывающий момент крана превысил удерживающий, в результате чего произошло падение крана и разрушение металлоконструкций ветвей башни, и маневрового гуська.

Зачастую, на строительных площадках работает не аттестованный персонал (стропальщики, специалисты ответственные за

безопасное производство работ). Решение о вводе в эксплуатацию грузозахватных приспособлений и тары принимается специалистом, ответственным за безопасное производство работ и записывается в специальный журнал, а если специалист не аттестован, он не знает своих обязанностей. Поэтому руководителям предприятий использующих грузоподъёмные механизмы необходимо следить и за своевременным проведением аттестаций.

Основными причинами аварий при эксплуатации кранов, являются организационные, такие как:

- низкая производственная и технологическая дисциплина на объектах строительства;

- не выполнение руководителями и специалистами должностных обязанностей по организации безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николенко С.Д., Сазонова С.А., Манохин В.Я., Манохин М.В. Обеспечение безопасности труда при погрузочно-разгрузочных работах. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. № 1. С. 22-27.
2. РД 10-08-92. Инструкция по надзору за изготовлением, ремонтом и монтажом подъёмных сооружений с изменениями №1, утвержденными Госгортехнадзором России 09.01.98г.
3. РД 10-112-3-97. Часть 3. Краны башенные, стреловые несамоходные и мачтовые краны, краны-лесопогрузчики.
4. РД РОСЭК-006-97. "Машины грузоподъёмные Конструкции металлические. Толщинометрия ультразвуковая. Основные положения".
5. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
6. РД 10-112-1-04. Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Часть 1. Общие положения.
7. Справочник по кранам в 2-х томах. Под ред. М.М.Гохберга. - М.: Машиностроение,1974. - Т1. 536 с., Т-2. 559 с.
8. Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 №116-ФЗ (в редакции 170-ФЗ от 02.06.2016г.).
9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», утвержденные приказом Ростехнадзора от 12.11.2013 г. № 533.
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» утвержденные приказом Ростехнадзора от 14.11.2013 г. № 538.

ANALYSIS OF THE CRUISE CRANE ACCIDENT

I. V. Khromkina, S. D. Nikolenko

Khromkina Irina Vladimirovna, Voronezh State Technical University, undergraduate group 152, e-mail: khromkina.irina@yandex.ru

Nikolenko Sergey Dmitrievich, Voronezh State Technical University, candidate of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

ABSTRACT

Ensuring the safety of cranes is an important task, given their large number used in construction. Despite quite strict control over the safe operation of cranes by Rostekhnadzor, the accident still occurs. Therefore, the analysis of crane crashes is an urgent task to ensure the continued safe operation of such cranes. In this paper, the analysis of a specific crash of the crawler crane SKG-40 at the construction site of the city of Lipetsk is considered. The causes of the accident are considered and a calculation is given explaining these reasons.
Key words: Cranes, crash, crane stability, safe operation of cranes.

REFERENCES

1. Nikolenko SD, Sazonova SA, Manokhin V.Ya., Manokhin M.V. Ensuring the safety of labor during loading and unloading operations. Scientific herald of Voronezh State Architectural and Construction University. Series: High technologies. Ecology. 2016. № 1. P. 22-27.
2. RD 10-08-92. Instruction on the supervision of the manufacture, repair and installation of lifting structures with amendments No. 1, approved by the Gosgortekhnadzor of Russia on January 9, 1998.
3. RD 10-112-3-97. Part 3. Tower cranes, derrick non-self-propelled and masted cranes, log-loader cranes.
4. RD-ROSEC-006-97. "Lifting machines Metallic structures., Thickness gage ultrasonic, Basic provisions".
5. RD 03-606-03. Instructions for visual and measurement control.
6. RD 10-112-1-04. Recommendations for the expert examination of load-lifting machines. Part 1. General provisions.
7. Handbook of cranes in 2 volumes. Ed. M.M. Gokhberg. - M .: Mechanical Engineering, 1974. - T1. 536 p., T-2. 559 p.
8. The Federal Law "On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities" of 21.07.97 №116-FZ (in the version 170-ФЗ of 02.06.2016).
9. Federal norms and regulations in the field of industrial safety "Safety rules for hazardous production facilities on which lifting structures are used", approved by order of Rostekhnadzor of 12.11.2013, No. 533.
10. Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Rules for the examination of industrial safety" approved by order of Rostekhnadzor of 14.11.2013, No. 538.

УДК 504:351.77

МОДЕЛЬ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПЫЛИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. Л. Мурзинов, В. Я. Манохин, Е. И. Головина

Мурзинов Валерий Леонидович, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

Манохин Вячеслав Яковлевич, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: manohinprof@mail.ru.

Головина Елена Ивановна, Воронежский государственный технический университет, заместитель декана по учебной работе факультета инженерных систем в строительстве, e-mail: u00111@vgasu.vrn.ru.

К опасным и вредным факторам литейного производства относятся высокие концентрации пыли и вредных газов, выделяющихся на различных этапах технологического процесса. Определение гранулометрического состава предоставленной пробы порошка проводилась методом лазерной дифракции, реализуемой на лазерном анализаторе частиц Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22». Анализ пыли, образующейся на дробеструйном участке в процессе гранулометрического анализа, показал, что существует непосредственная угроза для органов дыхания. В процессе дробления 86,2 % выделяемой пыли имеют размер фракций менее 100 мкм. Эти фракции относятся к средней и тонкой пыли, проникающей в легкие и осаждающиеся в них. По мнению специалистов, наличие в воздухе пыли размером менее 10 мкм увеличивает опасность получения профзаболеваний таких, как силикоз, бронхит, дерматит, конъюнктивит. Получена модель распределения частиц пыли по размерам.

Ключевые слова: рабочая зона, пыль, литейное производство, гранулометрический состав, гамма-распределение, метод фиксированных точек.

Введение. В технологии литейного производства на различных этапах технологического процесса, выделяются высокие концентрации пыли и вредных газов. Целью исследования является оценка дисперсного состава пыли, который определяет гигиеническое состояние рабочей зоны литейного производства.

При выполнении технологических процессов изготовления отливок, которые характеризуются большим числом операций, выделяются пыль, аэрозоли и газы [1]. Литейный цех машиностроительного производства располагается в городской застройке. Степень экологической безопасности определяется микроклиматом в зоне дробеструйной установки и межкорпусной зоне завода (при рассеивании выбросов) [2]. Состояние воздуха рабочей зоны литейного производства, как правило, не соответствует нормативным гигиеническим требованиям. Это определяется сложностью технологических процессов производства в целом [3].

Пыль, основной составляющей которой является кремнезём, образуется при приготовлении и регенерации формовочных и стержневых смесей, плавке литейных сплавов в различных плавильных агрегатах, выпуске жидкого металла из печи, внепечной обработке его и заливке в формы, на участке выбивки отливок, в процессе обрубки и очистки литья, при подготовке и транспортировке исходных сыпучих материалов.

Опасность пыли для здоровья определяется ее гранулометрическим составом, т.е. количественным соотношением в ней фракций пыли различных размеров [4, 5, 6, 7].

Описание лабораторной установки. Для определения размеров частиц пыли использовался метод гранулометрического анализа. Определение гранулометрического состава предоставленной пробы порошка проводилась в Воронежском государственном техническом университете в центре коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова. Был применён методом лазерной

© Мурзинов В. Л., Манохин В. Я. Головина Е. И., 2017

дифракции, реализуемой на лазерном анализаторе частиц Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22» (рис. 1) с пакетом управляющих программ Fritsch Mas control, в соответствии с требованиями ISO 13320-2009.

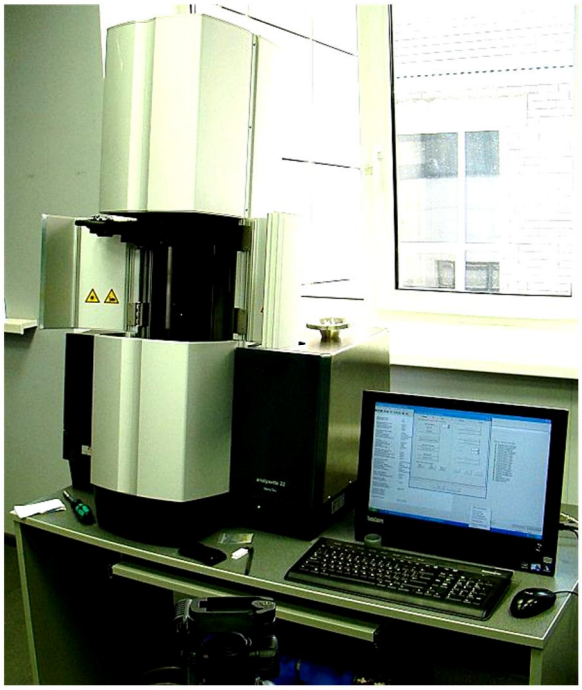


Рис. 1. Общий вид лазерного анализатора Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22»

Принцип дифракции лазерного излучения на дисперсных образцах заключается в том, что при попадании на частицу порошка лазерный луч отклоняется на некоторый угол, зависящий от размера частицы. Далее рассеянный луч попадает на детектор. Измерение интенсивности излучения, попавшего на каждый элемент детектора, и последующая математическая обработка сигнала позволяют определить размер частиц образца и оценить их форму.

Для исследования частиц в анализаторе осуществлялось сравнение лазерного излучения от образцов и объекта исследования. При этом использовалась дифракционная модель Фраунгофера. Данная модель применяется только для образцов с частицами крупнее 0,1 *мкм* (100 *нм*).

Обработка полученных результатов. По результатам проведенного анализа определен гранулометрический состав представленной пробы. Результаты, сформированные программным обеспечением анализатора Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22», приведены в табл. 1.

В табл. 1 для фиксированного значения долевого содержания частиц определён максимальный её размер. В результате исследования состава пыли установлено, что частицы размером меньше или равно 115.049 *мкм* в пробе содержится около 90 %, а крупных частиц (более 115.049 *мкм*) 10%. Наиболее опасными для человека являются пыли, частицы которых имеют размер от 0,2 *мкм* до 10 *мкм*, так как вызываю пневмокониозы, а при наличии пленки SiO_2 силикозы.

В табл. 2 показаны результаты обработки исходного статистического материала для получения эмпирической зависимости, связывающей долевое содержание и размер частиц предоставленной пробы.

Таблица 1. Гранулометрический состав пробы

Значение, %	размер частиц, *мкм*	Значение, %	размер частиц, *мкм*	Значение, %	размер частиц, *мкм*
5.0%	<= 19.285 мкм	10.0%	<=26.295мкм	15.0%	<=30.679мкм
20.0%	<=34.802мкм	25.0%	<=38.617мкм	30.0%	<=42.615мкм
35.0%	<=46.354мкм	40.0%	<=50.105мкм	45.0%	<=53.895мкм
50.0%	<=57.549мкм	55.0%	<=61.440мкм	60.0%	<=65.570мкм
65.0%	<=70.497мкм	70.0%	<=75.998мкм	75.0%	<=82.355мкм
80.0%	<=89.220мкм	85.0%	<=97.614мкм	90.0%	<=115.049мкм
95.0%	<=162.398мкм	99.0%	<=189.947мкм		

Таблица 2. Долевое содержание частиц зафиксированного размера в пробе

i	Исходные данные		j	Результат вычислений	
	φ_i, долевое содержание частиц	d_i, размер частиц, *мкм*		$d_j = \frac{d_i + d_{i+1}}{2}$, *мкм*	$f_S(d_j) = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_i}{d_{i+1} - d_i}$
0.	0,0	0,0	0	–	–
1.	0,05	≤ 19,29	1	9,6	0,0026
2.	0,1	≤ 26,30	2	22,8	0,0071
3.	0,15	≤ 30,68	3	28,5	0,0114
4.	0,2	≤ 34,80	4	32,7	0,0121
5.	0,25	≤ 38,62	5	36,7	0,0131
6.	0,3	≤ 42,62	6	40,6	0,0125
7.	0,35	≤ 46,35	7	44,5	0,0134
8.	0,4	≤ 50,11	8	48,2	0,0133
9.	0,45	≤ 53,90	9	52,0	0,0132
10.	0,5	≤ 57,55	10	55,7	0,0137
11.	0,55	≤ 61,44	11	59,5	0,0129
12.	0,6	≤ 65,57	12	63,5	0,0121
13.	0,65	≤ 70,50	13	68,0	0,0101
14.	0,7	≤ 76,00	14	73,2	0,0091
15.	0,75	≤ 82,36	15	79,2	0,0079
16.	0,8	≤ 89,22	16	85,8	0,0073
17.	0,85	≤ 97,61	17	93,4	0,0060
18.	0,9	≤ 115,05	18	106,3	0,0029
19.	0,95	≤ 162,40	19	138,7	0,0011
20.	0,99	≤ 189,95	20	180,7	0,0014

Для большей наглядности, данные таблицы 2 представлены в графическом виде на рис. 3 и рис. 4.

Моделирование гранулометрического состава пыли. Подходы к моделированию состава пыли были осуществлены в работах [9, 10]. В этих работах показано, что в рабочей зоне литейных цехов кроме пыли выделяется значительное количество загрязняющих веществ. Наиболее неблагополучными участками с позиции выделения пыли являются камеры и решетки. Однако с позиции моделирования отмечено, что в составе пыли весовое содержание фракций с диаметром до 20 мкм достигает 43,8% по массе. Даная пыль наиболее опасна для здоровья работающего персонала и создает проблемы при очистке воздуха.

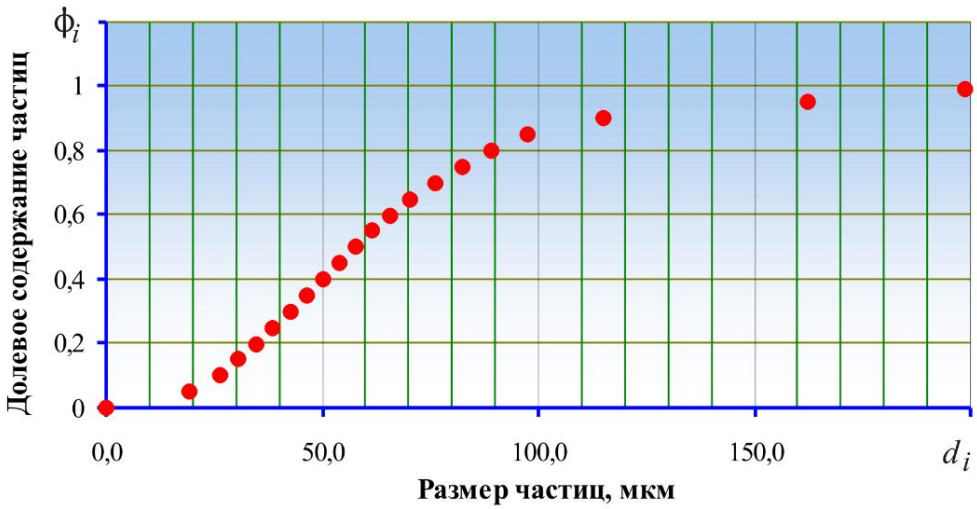


Рис.3. Графическое представление данных табл. 3 (аналог функции распределения [8]).

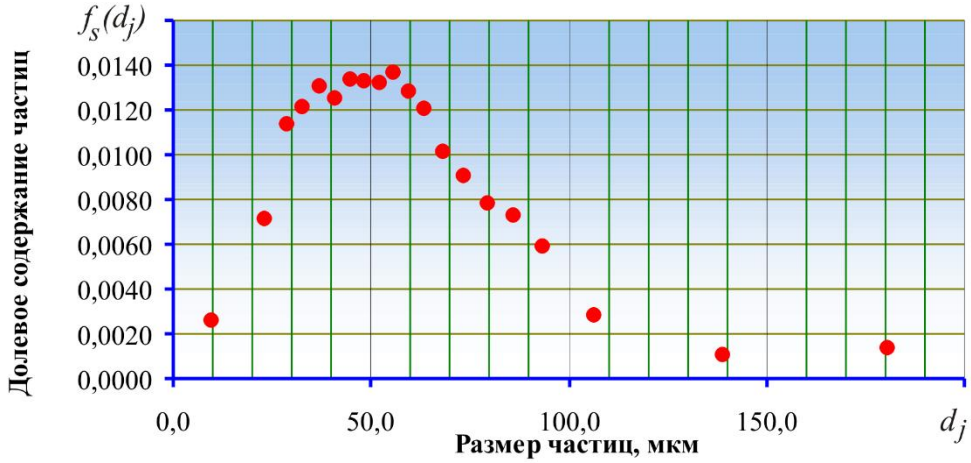


Рис. 4. Графическое представление данных табл. 3 (аналог функции плотности распределения [8]).

Для построения эмпирической зависимости, связывающей размер частицы и её долевое содержание в предоставленной пробе, были приняты следующие условные обозначения:

φ_i – долевое содержание частиц в предоставленной пробе;

d_i – фиксированный диаметр, полученный на лазерном анализаторе частиц пыли Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22» с пакетом управляющих программ Fritsch Mas control, *мкм;*

$Q_S(d_i)$ – эмпирическая функция, построенная по значениям табл. 3, является аналогом функции распределения для случайной величины;

$Q_N(d_i)$ – функция нормального закона распределения;

$Q_U(d_i)$ – функция нормального усечённого закона распределения;

$Q_\Gamma(d_i)$ – функция Гамма-распределения;

$Q_B(d_i)$ – функция распределения Вейбулла;

$f_S(d_j)$ – эмпирическая функция плотности распределения, являющейся статистическим аналогом функции плотности распределения;

$f_N(d_j)$ – функция плотности нормального закона распределения;

$f_U(d_j)$ – функция плотности нормального усечённого закона распределения;

$f_{\Gamma}(d_j)$ – функция плотности Гамма-распределения;

$f_B(d_j)$ – функция плотности распределения Вейбулла;

d_j – средний диаметр, полученный в результате вычисления $\frac{d_i + d_{i+1}}{2}$, показан в табл.2, *мкм*.

Расположение точек на графике на рис. 3 и рис. 4 по своей сущности представляют собой функцию распределения и функцию плотности распределения, которые являются основополагающими в теории вероятности. Существуют различные виды функций распределения. Наиболее употребительными, обладающими высокой гибкостью, является функция нормального распределения; функция нормального усечённого распределения; функция гамма-распределения; функция распределения Вейбулла.

Анализ применения таких функций как, степенные, логарифмические, показательные и т.д., показал, что эмпирические зависимости, построенные на этих функциях, недостаточно качественно описывают статистические данные.

Вид графического представления статистики очень напоминает функцию распределения, относящуюся к теории вероятности. Поэтому можно с большой долей уверенности использовать законы распределения из теории вероятности для моделирования гранулометрического состава пыли. Были рассмотрены наиболее употребительные законы распределения, такие как

1) нормальные закон распределения:

$$Q_N(d) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\operatorname{erf}\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x\sqrt{2}}\right), \qquad (1)$$

где $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x \exp\left(-t^2\right)dt$ – функция ошибок, m_x и σ_x – параметры распределения.

$$f_N(d) = \frac{\partial}{\partial d}[Q_N(d)] = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\exp\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x\sqrt{2}}\right)^2, \text{ мкм}^{-1} \qquad (2)$$

2) усечённы нормальный закон распределения:

$$Q_U(d) = 1 - \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x\sqrt{2}}\right)}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_x}{\sigma_x\sqrt{2}}\right)}. \qquad (3)$$

$$f_U(d) = \frac{\partial}{\partial d}[Q_U(d)] = \frac{\sqrt{2}}{\sigma_x\sqrt{\pi}}\frac{\exp\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x\sqrt{2}}\right)^2}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_x}{\sigma_x\sqrt{2}}\right)}, \text{ мкм}^{-1}. \qquad (4)$$

3) Закон гамма-распределения:

$$Q_{\Gamma}(d) = \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)}\int_0^d t^{k-1}\exp(-\lambda\cdot t)dt, \qquad (5)$$

где $\Gamma(k) = \int_0^1\left(\ln\left(\frac{1}{x}\right)\right)^{k-1}dx$ – гамма-функция, λ и k – параметры распределения.

$$f_{\Gamma}(d) = \frac{\partial}{\partial d}[Q_{\Gamma}(d)] = \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)}d^{k-1}\exp(-\lambda\cdot d), \text{ мкм}^{-1}. \qquad (6)$$

4) Закон распределения Вейбулла:

$$Q_B(d) = 1 - \exp\left(-\lambda\cdot d^k\right). \qquad (7)$$

$$f_B(d) = \frac{\partial}{\partial d}[Q_B(d)] = \lambda\cdot d^k\frac{k}{d}\exp\left(-\lambda\cdot d^k\right), \text{ мкм}^{-1}. \qquad (8)$$

Наиболее эффективным оказалось гамма-распределение. Для получения эмпирической зависимости на основе функции Гамма-распределения применялся метод выбранных точек. В качестве пробных точек были выбраны точки: 0,35(46) и 0,65(70). Подставляя в уравнение (5) выбранные точки составим систему двух уравнений

$$\left.\begin{aligned} 0.35 &= \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)}\int_0^{46} t^{k-1}\exp(-\lambda\cdot t)dt \\ 0.65 &= \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)}\int_0^{70} t^{k-1}\exp(-\lambda\cdot t)dt \end{aligned}\right\}, \qquad (9)$$

решением которой будет: k = 3.1; λ = 0.048 *мкм*$^{-1}$, и подставляя эти параметры в формулу (5), получим эмпирическую зависимость для исходного статистического материала

$$Q_{\Gamma}(d) = \frac{(0.048)^{3.1}}{\Gamma(3.1)}\int_0^d t^{3.1-1}\exp(-0.048\cdot t)dt. \qquad (10)$$

Функция (10) показана на рис. 5 совместно с экспериментальными точками из табл. 2.

Для получения функции плотности распределения в уравнение (6) подставим найденные параметры k = 3.1; λ = 0.048 *мкм*$^{-1}$ и получим

$$f_{\Gamma}(d) = \frac{(0.048)^{3.1}}{\Gamma(3.1)}d^{3.1-1}\exp(-0.048\cdot d) \qquad (11)$$

График функции (11) и статистические данные из табл. 2 показаны на рис. 6. Сходимость экспериментальных и теоретических

значений проверялась с использованием критерия Пирсона χ^2. Теоретическое значение χ_T^2 при числе степеней свободы 17 и уроню значимости 0,1 получается χ_T^2 = 24,7. Для функции (10) критерий Пирсона составит χ_{10}^2 = 0,257, для функции (11) – χ_{11}^2 = 0,097, что значительно меньше теоретического значения. Следовательно, предложенная модель описания распределения частиц по размеру в пробе не отвергается.

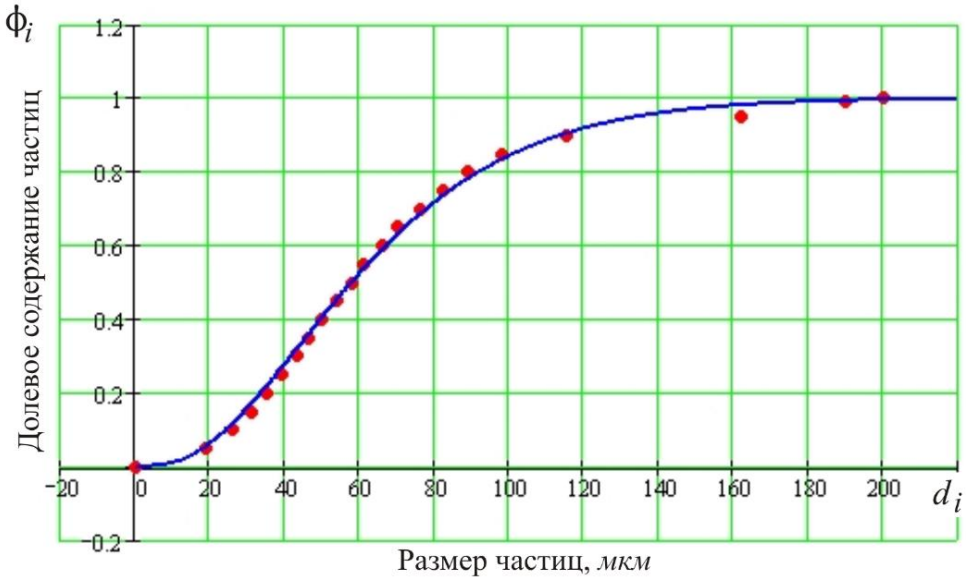


Рис. 5. Гамма-распределение. Функция распределения с параметрами k = 3.1; λ = 0.048 *мкм*$^{-1}$.

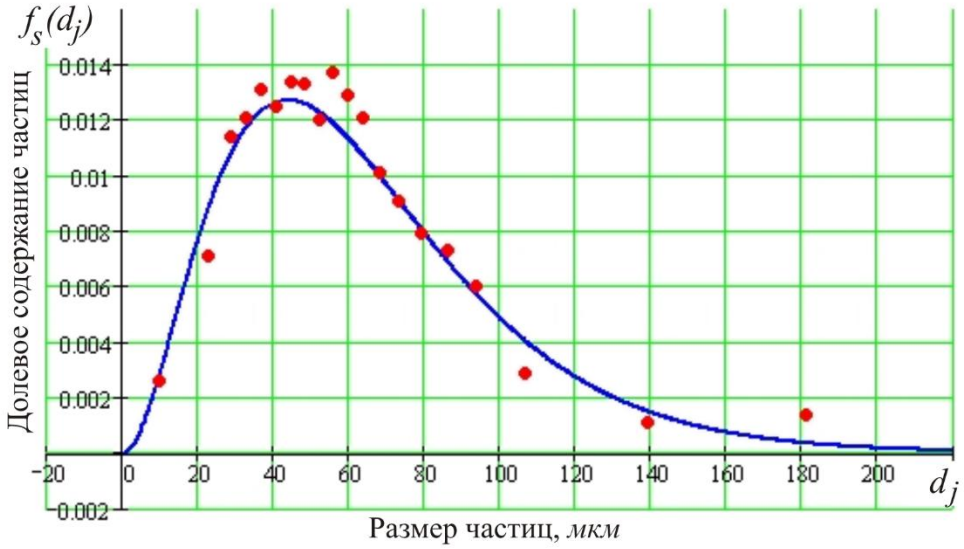


Рис.6. Гамма-распределение. Функция плотности распределения с параметрами k = 3.1; λ = 0.048 *мкм*$^{-1}$.

Выводы. Статистические данные по гранулометрическому составу пыли, полученные на лазерном анализаторе частиц пыли Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22» с пакетом управляющих программ Fritsch Mas control мало информативны. Проведя статистическую обработку исходных данных и используя известные законы распределения: нормальный, нормальный усечённый, гамма-распределения, распределение Вейбулла, удалось получить эмпирическую зависимость плотности распределения количества частиц в зависимости от их размера. Полученные эмпирические зависимости (5) и (6) показали хорошую сходимость со статистическими данными, что подтверждается критерием Пирсона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головина Е.И. Опасные и вредные факторы литейного производства и их влияние на состояние атмосферы в рабочей зоне // Вестник технологического университета. – 2016. – Т.19, № 23 – С. 126–131.
2. Трухов Ю.А. Технология литейного производства: литье в песчаные формы / А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М. Ю. Ершов; под ред. А.П. Трухова. – М.: Академия, 2005. – 524 с.
3. Болдин, А.Н. Литейное производство с точки зрения экологии / А.Н. Болдин // Литейное производство. – 2005. – № 3. – С. 33-34.
4. Головина Е.И., Манохин В.Я., Иванова И.А. Оценка опасных факторов литейного производства // Комплексные проблемы техносферной безопасности – материалы Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 170–173.
5. Иванова И.А. Определение коэффициента экологической опасности литейного производства // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т.10, №3 (46). – С. 406–409.
6. Иванова И.А. Оценка дисперсного состава пыли участка черного литья / И.А. Иванова, В.Я. Манохин // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т.10, №2 (45). – С. 200–204.
7. Иванова И.А., Манохин В.Я., Головина Е.И. Оценка запыленности рабочей зоны дробеструйного участка и выбивных решеток литейного производства. Комплексные проблемы техносферной безопасности - материалы XI Международной научно-практической конференции. г. Воронеж, 2015.
8. Королюк В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
9. Мурзинов В.Л. Модель идентификации процесса запылённости воздуха рабочей зоны в литейном производстве / В.Л. Мурзинов, В.Я. Манохин, И.А. Иванова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №10(74). С. 233 – 244. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/14.pdf , 0,75 у.п.л.
10. Манохин В.Я. Модели и методы систем управления экологической безопасностью литейного производства / В.Я. Манохин, В.Ф. Асминин, В.Л. Мурзинов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №10(74). С. 104 – 112. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/11.pdf , 0,5 у.п.л.

THE MODEL DENSITY DISTRIBUTION OF THE PARTICLE SIZE OF DUST FOUNDRY

V. L. Murzinov, V. Y. Manokhin

Murzinov Valery Leonidovich, Voronezh state technical University, doctor of technical Sciences, professor of fire and industrial safety, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

Manokhin Vyacheslav Yakovlevich, Voronezh State Technical University, doctor of technical sciences, professor of fire and industrial safety department, e-mail: manohinprof@mail.ru.

Golovina Elena Ivanovna, Voronezh state technical University, deputy dean for academic affairs faculty of engineering systems in construction, e-mail: u00111@vgasu.vrn.ru.

ABSTRACT

Dangerous and harmful factors of the foundry are high concentrations of dust and harmful gases emitted at different stages of the process. Determination of granulometric composition of given sample of powder was carried

out using laser diffraction, implemented on a laser particle analyzer Fritsch NanoTec "ANALISETTE 22". Analysis of dust from the blasting area during the granulometric analysis showed that there is an immediate threat to the respiratory system. In the process of crushing 86.2% of emitted dust have a particle size less than 100 microns. These fractions refer to medium and fine dust penetrating into the lungs and are deposited in them. According to experts, the presence in the air of dust smaller than 10 μm increases the danger of getting occupational diseases such as silicosis, bronchitis, dermatitis, conjunctivitis. The resulting model distribution of dust particles in size.
Keywords: working area, dust, foundry, particle size distribution, gamma distribution, the method of fixed points.

REFERENCES

1. Golovina E. I. Dangerous and harmful factors of the foundry and their influence on the state of the atmosphere in the working area // Bulletin of technological University. – 2016. – Vol. 19, No. 23 Pp. 126-131.
2. Trunov Yu. A. Foundry Technology: sand casting / Trunov A. P., Y. A. Sorokin, M. Yu. Ershov; ed. by A. P. Trunova. – M.: Academy, 2005. – 524 p.
3. Boldin, A. N. The foundry from the point of view of ecology / A. N. Boldin // Foundry production. – 2005. – No. 3. – Pp. 33-34.
4. Golovina E. I., Manokhin V. Ya., Ivanova I. A. Assessment of dangerous factors in foundry // the Complex problems of technosphere safety – materials of International scientific-practical conference. – 2016. – S. 170-173.
5. Ivanova I. A. Determination of environmental hazards of foundry production // Herald DGTU. – 2010. – Vol. 10, No. 3 (46). – S. 406-409.
6. Ivanova I. A. Estimation of disperse composition of dust section of the black casting / I. A. Ivanov, V. I. Manokhin // Herald DGTU. – 2010. – Vol. 10, No. 2 (45). – S. 200-204.
7. Ivanova I. A., Manokhin V. J., Golovina, E. I., assessment of the dustiness of the working area of the blast site and kick gratings foundry. Complex problems of technosphere safety - proceedings of the XI International scientific-practical conference. Voronezh, 2015.
8. Korolyuk, V. S., Handbook on probability theory and mathematical statistics / V. S. Korolyuk, N. And. Portenko, A. V. Skorokhod, And A. F. Turbin. – M.: Nauka, 1985. – 640 p
9. Murzinov V. L. Model identification of the process of air dustiness of the working area in foundry / V. L. Murzinov, Manohin V. I., Ivanov I. A. // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian University (the Scientific magazine of Kubsau) [an Electronic resource]. – Krasnodar: Kubsau, 2011. – №10(74). P. 233 – 244.
10. Manokhin V. J. Models and methods systems of environmental control, foundry / V. I. Manokhin, V. F. Osminin, V. L. Murzinov // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian University (the Scientific magazine of Kubsau) [an Electronic resource]. – Krasnodar: Kubsau, 2011. – №10(74). P. 104 – 112.

УДК 697.112.2

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПОМЕЩЕНИИ

В. Л. Мурзинов

Мурзинов Валерий Леонидович, Воронежский государственный технический университет, д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

Рассмотрен способ определения температуры в объёме помещения и показана возможность построения поля температур. В качестве датчиков используются весьма тонкие металлические пластины. Показано, что температура газовой среды в контрольных точках может определяться температурой поверхности датчика. Решена задача определения динамики изменения температуры поверхности датчика, выполненного в форме прямоугольника плоской пластины. Предложенный способ измерения температурного поля газовой среды позволяет оперативно исследовать практически любые помещения. При этом используемое оборудование является серийно выпускаемым. Основной прибор – пирометр. Показана возможность определения точности получаемых значений температуры в контрольных точках объёма помещения.

Ключевые слова: температурное поле, нагрев плоской пластины, уравнение теплопроводности, метод Фурье, коэффициент теплоотдачи, коэффициент теплопроводности.

Введение. Проблема определения температуры газовой среды в объёме помещения возникает при анализе и исследованиях параметров микроклимата в помещении, динамики температурного режима при возникновении пожара [4, 5], состояния технологического теплового процесса и т.д.

На сегодняшний день известны различные методы построения температурного поля в некотором объёме газовой среды. Например, устройство для измерения температурного поля газового потока [6] содержит преобразователь температуры и тепловизионную камеру. Преобразователь температуры выполнен в виде сетки из нитей, коэффициент теплопроводности которой приблизительно равен коэффициенту теплопроводности газовой среды. Температурное состояние преобразователя, соответствующее температурному состоянию газовой среды, фиксируется тепловизионной камерой. Изображение температурной картины подвергается обработке для получения числовых значений температурного поля. Этот метод позволяет получить значения теплового поля только для высокотемпературных процессов, что, естественно, сужает область его применения. Кроме того, сложно получить в числовом представлении динамику изменения температурного поля. Поверхность, сканируемая тепловизионной камерой, ограничена, а в труднодоступных местах контролируемого объема практически невозможен процесс сканирования.

Описание способа определения температуры в объёме помещения. Существует способ измерения пространственного распределения температуры, а устройство для его осуществления показано в [7]. Для измерения температуры в контрольных точках используются термочувствительные кварцевые датчики, проводники, генератор качающейся частоты, контроллер, устройства отображения информации. С помощью этого метода можно проследить динамику изменения температурного поля, но аппаратурное оформление сложно и громоздко. Каждый датчик должен быть гальванически соединен с генератором, контроллером и устройством отображения информации, что не всегда возможно для больших помещений. Кроме того, каждый датчик должен пройти процедуру тарировки.

© Мурзинов В. Л., 2017

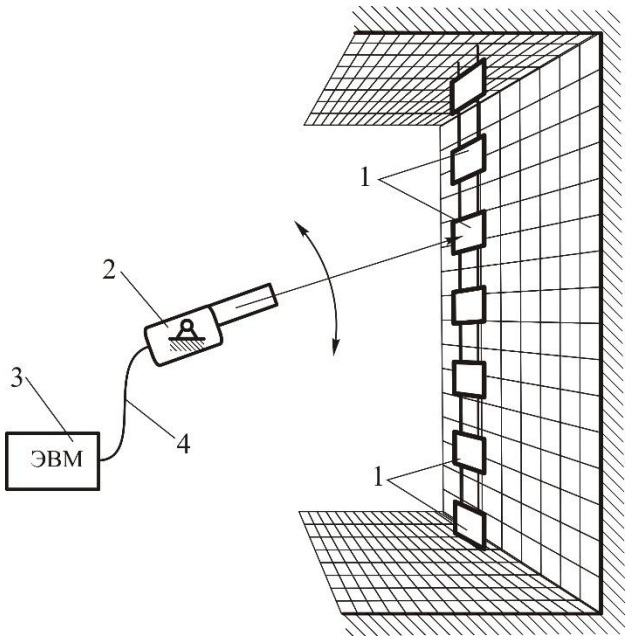
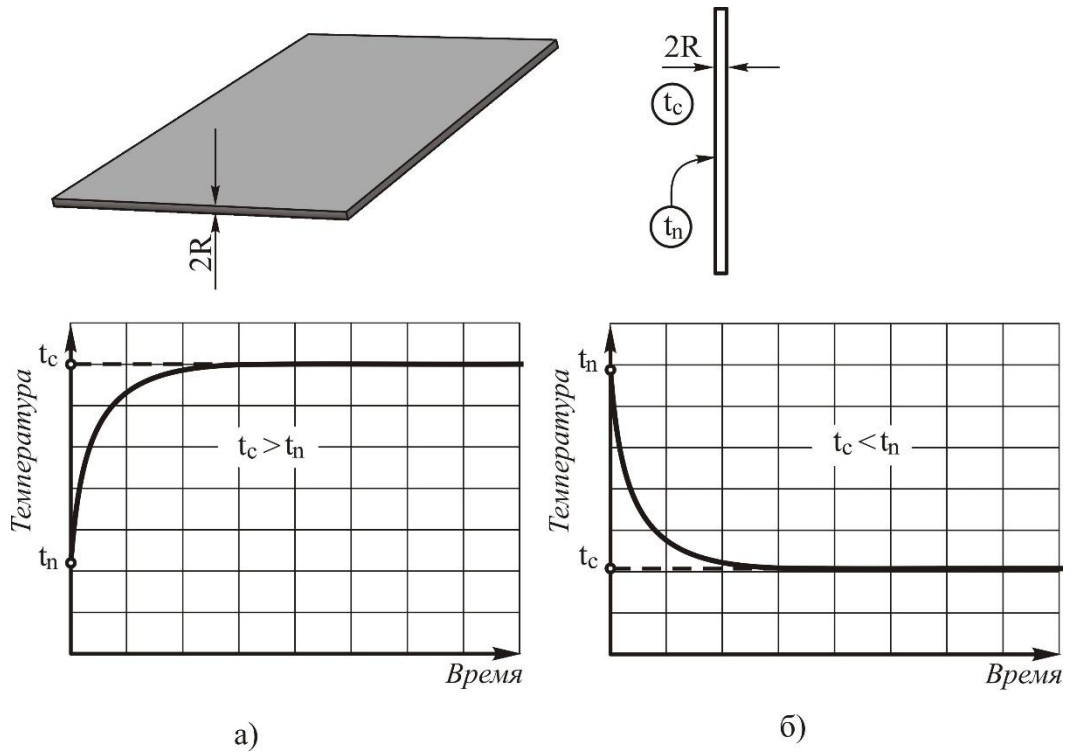


Рис. 1. Конструктивная схема устройства измерения температурного поля в помещении. 1 – датчик, 2 – пирометр, 3 – компьютер, 4 – соединительная шина.

Более эффективно и конструктивно более просто определение температурного поля в объеме помещения может быть осуществлено, если в качестве датчиков температуры воздуха использовать не кварцевые датчика, а простые, весьма тонкие металлические пластины, расположенные в контрольных точках, и имеющих толщину не более 0.1 мм. Измерение температуры в контрольных точках осуществляется бесконтактным способом пирометром, измеряющим температуру газовой среды по температуре поверхности датчика и формирующим в течение долей секунды значение этой температуры в виде числа, передаваемого в вычислительное устройство. На рис. 1 представлена конструктивная схема устройства измерения температурного поля в помещении с разрезом помещения, в котором установлены датчики 1 и схематически изображены пирометр 2, ЭВМ 3 – электронно-вычислительная машина (компьютер), соединительная шина 4.

Этот способ определения температурного поля в объёме помещения осуществляется следующим образом. Датчики помещаются в контрольные точки в объеме помещения. Пирометр соединяют с ЭВМ и устанавливают в положение, из которого удобно сканировать поверхности всех датчиков. Последовательно сканируют пирометром поверхности датчиков, получают значения температуры этих поверхностей. Полученные значения температуры передаются в ЭВМ, в которой фиксируются координаты положения датчиков, температура их поверхностей и временной момент получения значения температуры. Температура поверхности датчика соответствует температуре среды, окружающей этот датчик. На рис. 2 показаны графики переходного процесса, то есть характерного изменения температуры поверхности датчика. На графиках видно, что при любом соотношении начальной температуры поверхности датчика и температуры окружающей среды наступает равенство этих значений спустя некоторое время. Продолжительность этого времени определяет точность получаемых результатов, поэтому необходимо минимизировать этот переходной процесс.



а) б)

Рис. 2. Одна из возможных форм датчика. $2R$ – толщина датчика, t_c – температура газовой среды вокруг датчика, t_n – начальная температура поверхности датчика. а) график изменения температуры при условии, что $t_c > t_n$; б) график изменения температуры при условии, что $t_n > t_c$.

Моделирование температурного режима датчика. Более детальный анализ изменения температуры датчика может быть проведен на основе математической модели температурного поля внутренней структуры датчика. С позиции моделирования датчик представляет собой пластину достаточно тонкую, что позволяет допустить рассмотрение этой пластины конечных размеров, как пластину неограниченной протяженности толщиной 2R [1]. В начальный момент времени τ пластина помещается в среду с постоянной температурой t_c. Начальная температура пластины t_n. При этом выполняется условие $t_c > t_n$. Между ограничивающими поверхностями пластины и окружающей средой происходит теплообмен по закону Ньютона. Необходимо найти распределение температуры по толщине пластины, а также время достижения значения температуры на поверхности пластины равной температуре окружающей среды с погрешностью, не превышающей 5%.

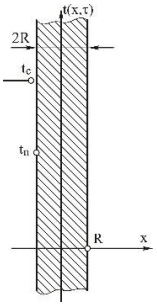


Рис. 3. Расчётная схема для определения распределения температуры в структуре тонкой пластины. $2R$ – толщина пластины, t_c – температура среды, t_n – начальная температура

поверхности пластины.

Запишем уравнение теплопроводности [1]

$$\frac{\partial t(x,\tau)}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t(x,\tau)}{\partial x^2}. \qquad (1)$$

где $t(x,\tau)$ – распределение температуры по толщине пластины; x – координата; τ – время; $a = \frac{\lambda}{c_p \rho}$ – коэффициент температуропроводности; λ – коэффициент теплопроводности; c_p – теплоемкость материала пластины; ρ – плотность материала пластины.

Введём в рассмотрение относительную температуру вида

$$T(x,\tau) = t_c - t(x,\tau) \qquad (2)$$

Для расчетной схемы на рис. 3 начальные условия будут

при $x = \pm R$ и $\tau = 0$

$$\left.\begin{array}{c} t(x,\tau) = t_n \\ T(x,\tau) = T_0 = t_c - t_n \end{array}\right\}, \qquad (3)$$

а граничные условия основываются на предположении, что количество тепла, поступившее от окружающей среды к пластине равно количеству тепла, распространяющегося по толщине пластины, имеют вид

$$-\lambda\frac{\partial t(x,\tau)}{\partial x} + \alpha\left[t_c - T(R,\tau)\right] = 0, \qquad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи.

С учетом замены (2) уравнение (1) примет вид

$$\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 T(x,\tau)}{\partial x^2}. \qquad (5)$$

Для решения уравнения (5), являющегося дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка, применим метод разделения переменных [1]. Решение уравнения (5) представим в виде произведения двух функций

$$T(x,\tau) = X(x)\cdot K(\tau). \qquad (6)$$

Подстановка (6) в (5) даст

$$X(x)\frac{\partial K(\tau)}{\partial \tau} = a\cdot K(\tau)\frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2},$$

$$\frac{1}{K(\tau)}\frac{\partial K(\tau)}{\partial \tau} = \frac{a}{X(x)}\cdot\frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} = -k^2,$$

откуда получим два обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{dK(\tau)}{d\tau} + k^2 K(\tau) = 0, \qquad (7)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \frac{k^2}{a}X(x) = 0. \qquad (8)$$

Соответственно решениями уравнений (7) и (8) будут [2, 3]

$$K(\tau) = C_1 \exp\left(-k^2\tau\right), \qquad (9)$$

$$X(x) = C_2 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right) + C_3 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right) \qquad (10)$$

После подстановки (9) и (10) в (6) получим

$$T(x,\tau) = \exp\left(-k^2\tau\right)\left[B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right)\right], \qquad (11)$$

где $B_1 = C_2 C_1$ и $B_2 = C_3 C_1$.

Для определения констант в уравнении (11) учтем начальные условия (3) и запишем систему уравнений

$$\left.\begin{array}{l} T(R,0) = T_0 = \exp\left(-k^2 0\right)\left[B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right)\right] \\ T(-R,0) = T_0 = \exp\left(-k^2 0\right)\left[B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}(-R)\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}(-R)\right)\right] \end{array}\right\},$$

откуда

$$B_1 = 0, \quad B_2 = \frac{T_0}{\cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right)}. \qquad (12)$$

Для определения неизвестной величины k воспользуемся граничным условием (4), в котором определим входящие в него величины

$$\frac{\partial t(x,\tau)}{\partial x} = -\exp\left(-k^2\tau\right)\left[B_1 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right)\frac{k}{\sqrt{a}} - B_2 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right)\frac{k}{\sqrt{a}}\right]. \qquad (13)$$

$$T(R,\tau) = \exp\left(-k^2\tau\right)\left[B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right)\right]. \qquad (14)$$

Теперь, с учетом (13) и (14) уравнение (4) можно записать в виде

$$\lambda \exp\left(-k^2\tau\right)\left[B_1 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right)\frac{k}{\sqrt{a}} - B_2 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}x\right)\frac{k}{\sqrt{a}}\right] + \qquad (15)$$
$$+ \alpha\left[t_c - \exp\left(-k^2\tau\right)\left[B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right)\right]\right] = 0$$

Учитывая значения констант (12) и

условия $x = R$, $\tau = 0$ уравнение (15) запишем в виде

$$\frac{\lambda}{\alpha}\frac{k}{\sqrt{a}}\mathrm{tg}\left(\frac{k}{\sqrt{a}}R\right) = \frac{t_c - T_0}{T_0}. \qquad (16)$$

Уравнение (16) можно записать в безразмерном виде, введя такие замены, как безразмерный комплекс $\mu = \frac{k}{\sqrt{a}}R$, содержащий величину k, критерий Био $Bi = \frac{\alpha}{\lambda}R$ и безразмерная начальная температура теплового процесса $\xi_t = \frac{t_c - T_0}{T_0}$ или с учетом (3) $\xi_t = \frac{t_n}{t_c - t_n}$

$$\mathrm{tg}(\mu) = \xi_t \frac{Bi}{\mu}. \qquad (17)$$

Уравнение (17) является трансцендентным, но, учитывая малые значения искомой величины μ, левую часть уравнение разложим в ряд

$$\mu^4 + \mu^2 - 3\xi_t Bi = 0. \qquad (18)$$

Решением уравнения (18) будет корень, дающий действительное, положительное значение

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{2}\sqrt{9 + 12\cdot\xi_t B_i} - \frac{3}{2}}. \qquad (19)$$

Из условия (2) имеем $t(x,\tau) = t_c - T(x,\tau)$ и учитывая (11), (12) и (19) можно записать искомое решение

$$t(x,\tau) = t_c - T_0 \exp\left(-\frac{\mu^2 a}{R^2}\tau\right)\frac{\cos\left(\mu\frac{x}{R}\right)}{\cos(\mu)}.$$

Изменение температуры на поверхности пластины определится при $x = R$ и уравнение (20) примет вид

$$t(R,\tau) = t_c - T_0 \exp\left(-\frac{\mu^2 a}{R^2}\tau\right).$$

Окончательно изменение температуры на поверхности датчика с учетом (19) примет вид

$$t(R,\tau) = t_n \exp\left(-\left(\sqrt{9 + 12\cdot\left(\frac{t_n}{t_c - t_n}\right)\frac{\alpha}{\lambda}R} - 3\right)\frac{\lambda}{2R^2 c_p \rho}\tau\right). \qquad (20)$$

Построение переходного процесса датчика. Для построения графика изменения температуры поверхности датчика были приняты параметры, представленные в табл. По уравнению (20) с учетом данных табл. построена графическая зависимость изменения температуры поверхности датчика, что показано на рис. 4. На этом графике так же показана граница 5% погрешности достижения температуры среды в контрольной точке и, соответственно, время достижения этой границы.

Параметры датчика

Материал	Алюминий	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·К)	203,5
Плотность ρ, кг/м3	2700	Толщина датчика $2R$, м	$2\cdot10^{-5}$
Теплоемкость c_p, Дж/(кг·К)	930	Температура среды t_c, К	70
Коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м^2·К)	209	Начальная температура датчика t_n, К	20

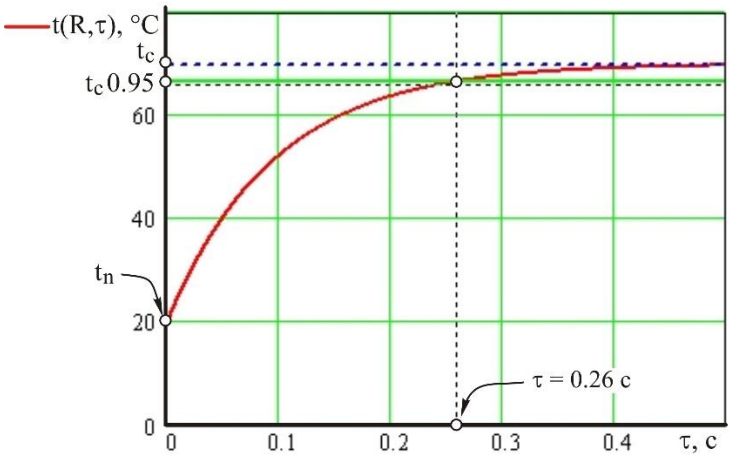


Рис.4. Изменение температуры поверхности датчика $t(R,\tau)$. t_c – температура окружающей среды, t_n – начальная температура поверхности датчика.

Из уравнения (20) можно определить время достижения границы 5% погрешности $\tau = -\frac{1}{\mu^2 a}\ln\left(0.05\frac{t_c}{t_c - t_n}\right)R^2$ и учитывая данные табл., получим $\tau = 0.26$ секунды.

Выводы. Рассмотренный метод измерения температуры газовой среды в объеме помещения обладает неплохим быстродействием. Поверхность датчика нагревается до температуры окружающей его газовой среды за 0.26 с, т.е. частота отклика датчика на изменение температуры составит 0.26 с-1. К этому нужно учесть еще время, затрачиваемое самим пирометром на формирование значения измеренной температуры на поверхности датчика. Например, если в качестве пирометра использовать бесконтактные термометры фирмы TESTO, частота измерений которых составляет 0.5 с-1, то общая частота измерений составит 0.76 с-1. За одну минуту система сможет выполнить около 80 измерений, т.е. можно получить достаточно объективную картину динамики изменения температуры газовой среды в помещении. Эта информация может быть использована в системах контроля, сигнализации и управления пожарной безопасностью, а так же в научных исследованиях, связанных с исследованием тепловых процессов в газовых средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 400 с.
2. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 576 с.
3. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Физматлит, 2001. – 576 с.
4. Мурзинов В.Л. Моделирование температурного режима пожара с учетом работы вентиляции в негерметичном помещении / В.Л. Мурзинов, М.В. Паршин, А.П. Паршина // Пожаровзрывобезопасность. – 2013, №6. – С. 56 – 61.
5. Мурзинов В.Л. Моделирование температуры в помещении при наличии открытого пламени в условиях свободной конвекции / В.Л. Мурзинов, М.В. Паршин, А.П. Паршина // Пожаровзрывобезопасность. – 2014, №12. – С. 28 – 33.
6. Пат. 2230300 Российская Федерация, МПК G01K 13/02. Устройство для измерения температурного поля газового потока / Жилкин Б.П., Ларионов И.Д., Шуба А.Н.; заявитель и патентообладатель Жилкин Б.П. Ларионов И.Д., Шуба А.Н. – №2002109369/28; заявл. 10.04.2002 г.; опубл. 10.06.2004 г., Бюл. № 16. – 5 с.

7. Пат. 2604267 Российская Федерация, МПК G01K 13/00, G01J 5/10. Способ измерения температурного поля в помещении и устройство для его осуществления / Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГТУ». – №2015121019/28; заявл. 02.06.2015 г.; опубл. 10.12.2016 г., Бюл. № 34.

THE METHOD OF CONSTRUCTING THE TEMPERATURE FIELD IN THE ROOM

V. L. Murzinov

Murzinov Valery Leonidovich, Voronezh state technical University, doctor of technical Sciences, professor of fire and industrial safety, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru

ABSTRACT

The method of determining the temperature in the volume space and the possibility of construction of temperature fields. As sensors are used a very thin metal plate. It is shown that the temperature of the gaseous medium at the control points can be determined by the surface temperature sensor. Solved the problem of determining the dynamics of changes of the surface temperature sensor, made in the form of a rectangular flat plate. The proposed method of measuring the temperature field of the gas medium allows you to quickly explore almost any space. The equipment is commercially available. Basic device – pyrometer. The possibility of determining the accuracy of the temperature values in control points of the volume of the room.

Key words: temperature field, heat, flat plate, heat equation, Fourier method, heat transfer coefficient, heat transfer coefficient.

REFERENCES

1. Lykov A.V. Theory of thermal conductivity. – M.: Higher school, 1967. – 400 p.
2. Kamke E. Reference book on ordinary differential equations. – SPb.: Publishing House "LAN", 2003. – 576.
3. Zaitsev V. F., Polyanin A. D. Handbook on ordinary differential equations. – M.: Fizmatlit, 2001. – 576.
4. Murzinov V. L. Modeling of temperature regime of a fire taking into account the ventilation in leaky indoor / Murzinov V. L., M. V. Parshin, Parshin A. P.//]. – 2013, №6. – P. 56 – 61.
5. Murzinov V. L. Simulation of the room temperature in the presence of an open flame in conditions of free convection / V. L. Martinov, M. V. Parshin, Parshin A. P.//]. – 2014, No. 12. – S. 28 – 33.
6. Pat. 2230300 Russian Federation, IPC G01K 13/02. A device for measuring the temperature field of the gas flow / Zhilkin B. P., Larionov I. D., Coat, A. N.; applicant and patentee Zhilkin B. P. Larionov, I. D., Coat, A. N. No 2002109369/28; Appl. 10.04.2002 G.; publ. 10.06.2004 G., bull. No. 16. – 5 S.
7. Pat. 2604267 Russian Federation, IPC G01K 13/00, G01J 5/10. Method of measuring temperature fields in premises and device for its implementation / Murzinov V. L., P. V. Martinov, Martinov Y. V.; applicant and patent holder FGBOU VO "VGTU". No 2015121019/28; Appl. 02.06.2015 G.; publ. 10.12.2016 G., bull. No. 34.

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выпуск 1 (1), 2017

Подписано в печать 03.07.2017. Формат бумаги 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 11,9. Усл.-изд. л. 10,0. Бумага писчая. Тираж 150 экз. Заказ № ____

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский проспект, 14
Отдел оперативной полиграфии ВГТУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84