



## ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ  
**«ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016»**,  
ПОСВЯЩЁННОЙ ГОДУ ОБРАЗОВАНИЯ  
В СОДРУЖЕСТВЕ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

15-25 АПРЕЛЯ 2016 Г.

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Сборник материалов  
Международной конференции студентов,  
аспирантов и молодых учёных  
«Перспектив Свободный-2016»,  
посвящённой Году образования  
в Содружестве Независимых Государств

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля  
2016 г.

Красноярск, 2016



ПЕРСПЕКТИВ СВОБОДНЫЙ-2016

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г.

## «Пожарная безопасность»



## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВОВ**

**Азарникова В.А., Акентьева Ю.Э., Сколкова Е.В., Чудинова С.Е.**

**научные руководители канд. техн. наук Минкин А.Н.,**

**канд. техн. наук Бражников А.В.**

*Сибирский федеральный университет*

Взрыв внутри технологического оборудования и производственных помещений является одной из наиболее опасных и типичных для предприятий химической и смежных отраслей промышленности аварийной ситуацией. Статистика показывает, что из всех аварий в химической промышленности нашей страны 20-25% связано со взрывами и загораниями. Взрывы в производственных помещениях, как правило, являются следствием, предшествующим им взрывам в оборудовании. Поэтому взрывозащита технологического оборудования является основой профилактики взрывов в здании и обеспечения взрывобезопасности производств в целом.

Технологические регламенты большинства процессов по переработке горючих материалов разрабатываются таким образом, чтобы не допустить образования взрывоопасных концентраций. Однако практика показывает, что, несмотря на это, взрывоопасные смеси в аппаратах образуются часто.

В оборудовании по переработке горючих материалов взрывоопасные смеси могут иметь место в регламентном режиме работы технологического оборудования. Профилактика взрывов в таких производствах направлена на недопущение образования мощных электрических искр, открытого пламени, перегрева деталей машин и т.д. Анализ показывает, что из всех взрывов в промышленности только 10 % связано со взрывами пыли, однако это, как правило, наиболее тяжелые по материальному ущербу и числу человеческих жертв аварии. Пылевые взрывы могут происходить в сушилках, фильтрах, бункерах, мельницах и другом оборудовании<sup>[1]</sup>.

Разработка и использование средств защиты оборудования от взрывов должна базироваться на четких представлениях о механизме происходящих при этом процессов и, особенно, о динамике их развития. Под взрывом принято понимать широкий круг явлений, связанных с выделением больших количеств энергии в ограниченном объеме за очень короткий промежуток времени. При взрывах происходит образование в локальной области зоны повышенного давления и последующее распространение по окружающей среде со сверхзвуковой скоростью взрывной волны, представляющей собой скачок давления, плотности, температуры и скорости среды<sup>[2]</sup>.

Наиболее опасным внешним проявлением взрывов горючих смесей в замкнутом объеме считается быстрое повышение давления, причем, (если не считать детонацию) максимальное давление взрыва может превышать начальное в 8÷11 раз. Защита от взрывов в технологическом оборудовании и зданиях по существу всегда направлена на предотвращение их разрушения под действием давления.

Распространенным способом взрывозащиты оборудования является применение устройств сброса давления взрыва: взрывных клапанов, мембран. Применение таких устройств не устраняет, а лишь уменьшает разрушительное действие взрыва, их срабатывание почти всегда связано с большими залповыми выбросами продуктов, представляющих опасность для окружающей среды и людей.

Наиболее надежным способом взрывозащиты является установка достаточно прочного оборудования, способного выдержать полное давление взрыва. Этот способ не применяется часто, в связи с большими экономическими затратами<sup>[3]</sup>.

Целью данной работы является разработка метода снижения давления при взрыве горючей смеси в замкнутых объемах. Для определения влияния пластинчатых насадок на давление взрыва и скорость нарастания давления при взрыве паропылевоздушной горючей смеси была разработана установка, схема которой показана на рисунке 1.

Исследования проводились с пылевидными, паро(газо)воздушными средами, с гибридными смесями и при влиянии твердых негорючих примесей. Для проведения исследований применялись образцы следующих веществ: ацетона, спирта, крахмала, оксида кремния, мебикара.

Наиболее взрывоопасной из пылевоздушных является горючая смесь с размеров твердых частиц менее 75 мкм, поэтому были использованы вещества данной дисперсности<sup>[4]</sup>.

Проводилась серия предварительных испытаний для нахождения оптимальной концентрации дисперсного материала, при которой возникает наибольшее давление взрыва.

Для определения изменения давления взрыва от отношения площади внутренней поверхности к объему во взрывной камере устанавливалось различное число пластинчатых насадок, делящих ее на равные части. С каждой группой пластинчатых насадок проводилась серия из десяти испытаний при оптимальной концентрации и отличной от нее. По полученным осциллограммам определялось давление взрыва и скорость нарастания давления взрыва. Часть результатов экспериментов представлены в таблице 1.

Так как в реальных условиях аппараты могут быть секционированы неравномерно, были проведены экспериментальные исследования при горении горючих смесей с равномерным и неравномерным секционированием, при равной площади внутренней поверхности. В результате обработки экспериментальных данных была получена зависимость.

$$P_{\text{взр}}^* = \sum_{i=1}^n P_{i \text{ взр}} \frac{V_i}{V_{\text{общ}}}$$

где  $P_{\text{взр}}^*$  – давление взрыва в аппарате при произвольном секционировании, Па;

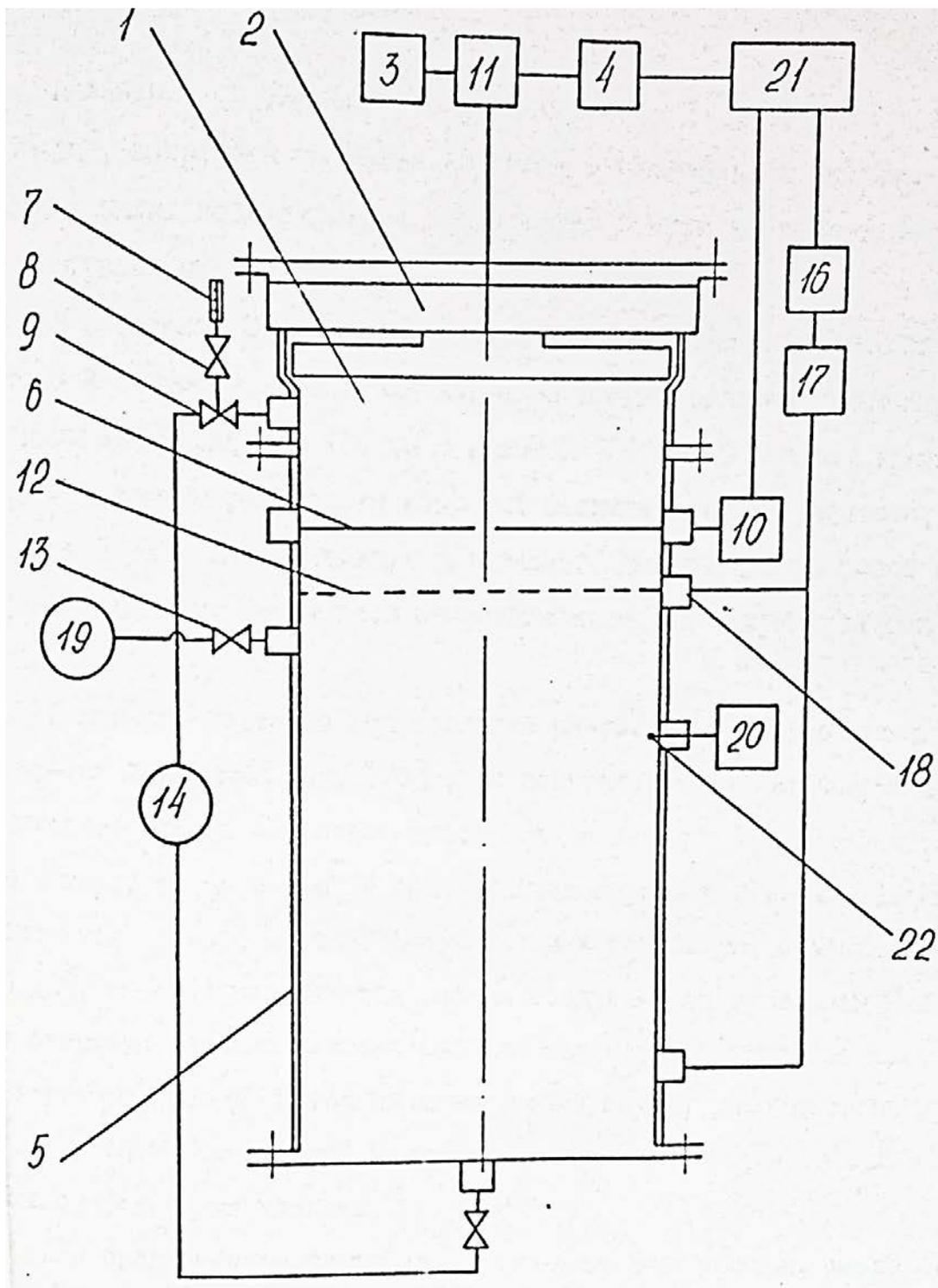
$P_{i \text{ взр}}$  – давление взрыва в  $i$ -й секции, Па;

$V_i$  – объем  $i$ -й секции, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{общ}}$  – общий объем, м<sup>3</sup>.

Сравнение результатов экспериментов с расчетными значениями показало их соответствие с точностью не менее 7%.

В результате проведенных исследований было выявлено влияние пластинчатых насадок на давление, развиваемое при горении паровоздушных, пылевоздушных и гибридных горючих смесей. Показано, что при уменьшении эквивалентного диаметра происходит снижение давления развиваемого при горении горючих смесей и происходит сокращение времени, в течение которого достигается максимальное давление взрыва.



**Рис. 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки: 1-взрывная камера; 2-устройство для создания пылевоздушной среды; 3-стабилизатор; 4-ЛАТР-1; 5-термостатируемый нагреватель; 6-электроды; 7-мерник; 8-кран; 9-кран; 10-индуктивная катушка; 11-измеритель напряжения; 12-пластинчатая насадка; 13-кран; 14-воздуходувка; 15-кран; 16-осциллограф; 17-усилитель; 18-датчики давления; 19-вакуум насос; 20-потенциометр; 21-пульт управления; 22-термо-электрический преобразователь**

Таблица 1 – Данные, полученные в ходе проведения экспериментов

№	Количество насадок, шт	Среднее значение давления взрыва, МПа	Относительная погрешность при доверительной вероятности $P=0,95$	Вид вещества и его концентрация
1	0	0,54	2,4	Ацетон $c=4,2\%$
2	2	0,526	1,57	
3	3	0,525	2,7	
4	4	0,515	1,99	
5	6	0,475	2,17	
6	8	0,447	2,9	
7	12	0,365	2,75	
8	24	0,25	2,37	
9	0	0,531	5,97	Крахмал $c=690 \text{ г/м}^3$
10	2	0,495	4,38	
11	3	0,452	5,74	
12	4	0,378	2,57	
13	6	0,337	2,67	
14	8	0,277	3,98	
15	12	0,208	5,69	
16	24	0,114	5,01	
17	0	0,557	4,32	Крахмал $c=693 \text{ г/м}^3$ Ацетон $c=5,7\%$
18	2	0,54	5,14	
19	3	0,518	2,32	
20	4	0,468	4,80	
21	6	0,446	3,58	
22	8	0,387	3,59	
23	12	0,321	2,77	
24	24	0,204	3,92	

#### Список литературы

1. Архипов В.А., Синогина Е.С. Горение и взрывы. Опасность и анализ последствий. Учебное пособие. ТГПУ: Изд-во Томского Государственного Педагогического Университета, 2007. С.124
2. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. М.: Энергоатомиздат, 2010. С.784
3. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Взрывобезопасность. Учебник. СПб.: Астерион, 2006. С.392
4. Брушлинский Н.Н., Корольченко А.Я. Моделирование пожаров и взрывов. Москва: ПОЖНАУКА, 2000. С.482

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Азарникова В.А., Сколкова Е.В., Чудинова С.Е.**

**научные руководители: канд. техн. наук Бражников А.В.,**

**канд. техн. наук Минкин А.Н.**

*Сибирский федеральный университет*

Современные научные методы прогнозирования ОФП основываются на математических моделях пожара. Математическая модель пожара описывает в самом общем виде изменение параметров состояния среды в помещении с течением времени, а также параметров состояния ограждающих конструкций этого помещения и различных элементов технологического оборудования.

Методы прогнозирования ОФП различают в зависимости от вида математической модели пожара. Математические модели пожара в помещении условно делятся на три вида: интегральные, зонные и полевые (дифференциальные). Выбор модели определяется целью (задачами) прогноза (исследования) для заданных условий однозначности (характеристики помещения, горючего материала и т.д.) путем решения системы дифференциальных уравнений, которые составляют основу выбранной математической модели.

Перечисленные модели отличаются друг от друга объемом той информации, которую они могут дать о состоянии газовой среды в помещении и взаимодействующих с нею конструкций на разных этапах (стадиях) пожара. В этом отношении наиболее детальные сведения можно получить с помощью полевой модели<sup>[1]</sup>.

В математическом отношении три вышеназванных вида моделей пожара характеризуются разным уровнем сложности. В таблице 1 приведены результаты сравнительного анализа данных моделей.

В результате проведения сравнительного анализа данных моделей были выявлены следующие недостатки и достоинства (см. таблицу 2).

Каждая из математических моделей имеет ряд недостатков, расчеты сложны и громоздки, следовательно, возникает необходимость использования ЭВМ. В ходе данной работы был проведен патентный поиск разработок в этой области.

Известно программное обеспечение по расчету времени эвакуации людей из здания при пожаре "Stopfire". Программа применяется при определении расчетных величин пожарного риска, уровня обеспечения пожарной безопасности людей, расчетном обосновании безопасной эвакуации; в программе создается схема эвакуации и проводится расчет времени эвакуации на основе модели движения людских потоков в соответствии с методиками расчета, утвержденными приказом МЧС РФ от 30.06.2009 г. № 382 и приказом МЧС РФ от 10.07.2009 г. № 404<sup>[2]</sup>.

Нами была обнаружена интернет-картографическая система управления пожарным риском на производственных объектах, предназначенная для расчетной оценки пожарных рисков с использованием Интернет-сервиса Google Maps. Программа может располагаться на Web сервере и обладает следующими возможностями: построение логического дерева событий для определения развития возможных пожароопасных ситуаций и пожаров на наружных технологических установках; построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития; оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей; ввод, обработка и отображение пространственных данных<sup>[3]</sup>.

Таблица 1 – Сравнительный анализ существующих математических моделей

Параметр	Интегральная	Зональная	Полевая
1. Математический аппарат	Система дифференциальных уравнений	Совокупность систем дифференциальных уравнений	Системы трех- или двумерных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных
2. Искомые параметры	Среднеобъемные параметры состояния среды в помещении для любого момента развития пожара (температура, концентрация продуктов горения, оптическая плотность дыма). Независимый аргумент - время	Размеры и координаты характерных пространственных зон, возникающих при пожаре в помещении и средние параметры состояния среды в этих зонах. Независимый аргумент - время	Локальные параметры состояния во всех точках пространства внутри помещения: плотность и температура среды, скорость движения газа, концентрации компонентов газовой среды, оптическая плотность дыма. Независимыми аргументами являются координаты $x, y, z$ и время
3. Область применения	- для помещений и системы помещений малого объема, простой геометрической конфигурации; - характерный размер очага пожара соизмерим с размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой; - для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара	- для помещений и систем помещений большого объема (когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения); - для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т.д.) - простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой	- для помещений сложной геометрической конфигурации, с большим количеством внутренних преград; - если один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т.д.); - применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т.д.)

Таблица 2– Достоинства и недостатки существующих математических моделей

Параметр	Интегральная	Зональная	Полевая
Недостатки	- необходимость использования дополнительной экспериментальной информации для получения распределения параметров теплообмена по объему помещения; - величины ОФП на уровне рабочей зоны не зависят от вида, свойств, места расположения горючего материала и геометрии помещения	- необходимость дополнительной экспериментальной информации для получения распределения параметров теплообмена по объемам зон помещения; - в случае сложной термогазодинамической картины пожара основные допущения зонной модели не соответствуют реальным условиям	- сложность в математическом описании
Достоинства	- быстрый и низкотрудоемкий инженерный расчет	- быстрый и низкотрудоемкий инженерный расчет	- детальные сведения о состоянии газовой среды в помещении и взаимодействиях конструкций на разных этапах пожара

Также известен программный комплекс «Енисей», включающий в себя компьютерный программный модуль «СИГМА ПБ», который предназначен для выполнения расчетов распространения опасных факторов пожара и эвакуации из многоэтажных зданий, сооружений и строений различных классов функциональной пожарной опасности.

Кроме того, был произведен анализ существующих программных комплексов, которые нашли широкое применение, и выявлен ряд недостатков.

Первым из них является СИТИС, включающий в себя модули Спринт, Флоутек, Блок, ВИМ, Фламмер, недостатками которого являются:

- невозможность расчета пожарного риска для производственных зданий, так как в программу не заложена «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденная приказом МЧС РФ от 10 июля 2009 г. N 404;
- ограниченность применения для помещений с высотой более 6 метров.

Вторым - широко известное программное обеспечение «Фогард», в котором реализована полевая модель. Недостатками являются:

- необходимость постоянного доступа в интернет, так как все расчеты проводятся на сервере;

- конфиденциальность расчётных данных ставится под угрозу, в связи с возможностью взлома сервера

Третьим - PyroSim 2012.1, представляющий собой графический интерфейс для FDS, который позволяет быстро и удобно создавать, редактировать и анализировать сложные модели развития пожара. PyroSim является самым популярным программным обеспечением для быстрой и точной работы с Fire Dynamics Simulator (FDS). Недостатки данного программного комплекса:

- PyroSim не имеет функции создания отчета;
- расчет с использованием полевой модели может занять длительное время (сутки и более).

Также в сравнительный анализ была включена всемирно известная программа FDS (Fire Dynamics Simulator), в которой реализована гидродинамическая модель, позволяющая вычислять перемещения воздушных потоков, вызванных пожаром. Разработана Национальным институтом стандартов и технологии (НИСТ) министерством торговли США при содействии Технического научно-исследовательского центра VTT (Финляндия). Недостатками данного программного комплекса является:

- неактуальность расчетов для современных зданий и сооружений, т.к. поддержка данной программы закончилась 1998г., следовательно, строительные нормы, на которых она основана, устарели и не являются актуальными;

- FDS громоздка и требует мощных ЭВМ;
- один расчет FDS может занимать значительное количество времени (неделю и более).

На основе данного программного комплекса разработано большинство современных программ по расчету пожарных рисков, разработчиками которых также являются иностранные организации, следовательно, программы разработаны для климатических условий отличных от условий РФ. Этот факт ставит под сомнение их пригодность на территории нашей страны, в особенности северных районов.

В результате проведенного в данной работе обзора возникает острая необходимость создания альтернативного программного комплекса, учитывающего вышеупомянутые недостатки, а также климатические условия нашей страны.

### **Список литературы**

1. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожаров в помещении: Учебное пособие. М. Академия ГПС МВД России, 2000. С.118

2. Еремин Ю.С., Еремина Т.Ю., Сухотина М.А., Тихонова Н.В. Программное обеспечение по расчету времени эвакуации людей из здания при пожаре "Stopfire". Патент РФ №2013619554 С1. Дата публикации: 09.10.2013

3. Гудин С.В., Хабибулин Р.Ш., Лепихов В.О. Программа Интернет-картографическая система управления пожарным риском на производственных объектах Патент РФ 2012615141 С1. Дата публикации 08.06.2012



## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ**

**Григорьева Е.Г.**

**научные руководители канд. техн. наук Минкин А.Н.,**

**канд. техн. наук Бражников А.В.**

*Сибирский федеральный университет*

Еще в древней Руси, начиная с X-XI вв., по мере укрепления российской государственности, развития хозяйства, роста городов все острее вставал вопрос борьбы с пожарами, которые причиняли неизмеримый материальный ущерб, уносили тысячи жизней людей. В древних летописях содержатся описания грандиозных пожаров, сметавших целые города. По наблюдениям историков, вплоть до XV в. в России пожар в городе считался большим, если сгорало несколько тысяч дворов. О пожаре, который уничтожал сотни дворов, даже не упоминали, такое случалось часто. В 1493 г. даже московский белокаменный Кремль дважды полыхал из-за загорания многочисленных деревянных построек, вплотную подходивших к его стенам.

Все здания и сооружения представляют собой объекты, которые имеют ту или иную степень пожарной опасности. Объекты в подавляющем большинстве содержат горючие вещества в количествах достаточных для нанесения ущерба, окислитель (кислород воздуха) и возможные источники зажигания, то есть совокупность условий способствующих возникновению пожара и определяющих его возможные масштабы и последствия. Основной проблемой пожарной безопасности здания является приведение пожарной опасности здания в такое состояние при котором исключается возможность пожара на объекте, а в случае возникновения пожара обеспечивается защита людей и материальных ценностей.

Пожарная безопасность обеспечивается:

1. Системой предотвращения пожара.
2. Системой противопожарной защиты.
3. Организационно техническими мероприятиями.

Решение проблемы пожарной безопасности в Российской Федерации во многом зависит от повышения уровня противопожарных знаний у населения.

Поэтому одной из важнейших задач государства следует считать организацию обучения всего населения, и в первую очередь детей и молодежи пожарной безопасности. У будущих инженеров, предпринимателей, рабочих и служащих с детских и юношеских лет должен закладываться прочный фундамент противопожарного поведения как на производстве, так и в быту.

Пожары наносят громадный материальный ущерб и в ряде случаев сопровождаются гибелью людей. Поэтому защита от пожаров является важнейшей обязанностью каждого члена общества и проводится в общегосударственном масштабе. Основными элементами системы обеспечения пожарной безопасности являются органы государственной власти, органы местного самоуправления. Предприятия и граждане, принимающие участие в обеспечении пожарной безопасности в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Сейчас в России развитию противопожарного нормирования придается большое значение. В настоящее время обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений различного назначения базируется на развернутой системе противопожарных норм строительного проектирования

Электротехническая часть проектов котельных должна разрабатываться в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), строительными нормами и правилами производства и приемки работ по электротехническим устройствам, Инструкцией по проектированию электроснабжения промышленных предприятий и настоящим разделом.

Выбор электродвигателей, пусковой аппаратуры, аппаратов управления, светильников и проводки следует производить в зависимости от характеристики зданий (помещений) и сооружений по условиям среды, определяемой по прил. 9 к настоящим нормам и правилам с учетом следующих дополнительных требований:

- электродвигатели к вытяжным вентиляторам, устанавливаемым в помещениях встроенных пристроенных и крышных котельных с котлами, предназначенными для работы на газообразном топливе и на жидком топливе с температурой вспышки паров 45°C и ниже, должны быть в исполнении, предусмотренном ПУЭ для помещений класса В-1а. Пусковая аппаратура этих вентиляторов, как правило, должна устанавливаться вне помещения котельной и быть в исполнении, соответствующем характеристике окружающей среды. При необходимости установки пусковой аппаратуры в помещении котельной эта аппаратура принимается в исполнении, предусмотренном ПУЭ для помещений класса В-1а;

- при расположении оборудования водоподготовки, насосных станций и газорегуляторных установок в общем помещении с котлоагрегатами выбор электрооборудования производится по характеристике среды котельного зала;

- для помещений топливоподачи, оборудованных системой гидроборки, выбор исполнения электрооборудования, проводки и светильников производится с учетом возможности обмывки их водой.

Прокладку кабелей питающих и распределительных сетей, как правило, следует выполнять в коробах или открыто на конструкциях, а проводов – только в коробах.

При невозможности такой прокладки допускается предусматривать прокладку кабелей в каналах, а проводов – в трубах,

В помещениях складов и насосных станций жидкого топлива и жидких присадок прокладка кабелей в каналах не допускается.

Прокладка транзитных кабелей и проводов в помещениях и сооружениях топливоподачи не допускается.

Для обеспечения безопасной работы и сохранности оборудования при отключении котлоагрегатов следует предусматривать блокировку электродвигателей дымососов, дутьевых вентиляторов, механизмов подачи топлива.

Блокировка электродвигателей механизмов котлов со слоевыми ручными топками не предусматривается.

В системах топливоподачи, пылеприготовления и золошлакоудаления следует предусматривать блокировку механизмов, обеспечивающую включение и отключение электродвигателей в определенной последовательности, исключающей завал отдельных механизмов топливом, золой или шлаком.

Механизмы топливоподачи и пылеприготовления должны быть заблокированы с вентиляторами аспирационных установок.

В котельных без постоянного обслуживающего персонала, работающих на жидком и газообразном топливе, должно быть предусмотрено автоматическое закрытие быстродействующего запорного клапана на вводе топлива в котельную:

- при отключении электроэнергии;
- при сигнале загазованности котельной, работающей на газе. Такие котельные должны быть защищены от несанкционированного доступа внутрь.



**СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН СБК-1Т И СБК-1L ДЛЯ  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОСТАТИКИ И ГИДРОДИНАМИКИ  
ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Гулеватова А.И., Феоктисова А.В., Каминская К.Е.**  
**научные руководители канд. техн. наук Минкин А.Н.,**  
**канд. техн. наук Бражников А.В.**  
*Сибирский федеральный университет*

При решении ряда задач гидростатики и гидродинамики противопожарного водоснабжения оказывается весьма целесообразным использование систем измерений физических величин, в которых отсутствует размерность массы. Одной из таких систем единиц физических величин является система СБК-2LT, разработанная в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» [6, 7].

Предварительные замечания:

1. В основе систем единиц физических величин СБК-1Т и СБК-1L лежит система единиц физических величин СБК-2LT, которая была получена из международной системы единиц физических величин СИ и краткое описание которой приведено в [1, 5]. Таким образом, в основе систем СБК-1Т и СБК-1L в конечном счете лежит всемирно признанная система СИ.

2. Система СБК-2LT получена не в результате искусственного подбора базовых размерностей и основных единиц измерения, а в результате естественной трансформации системы СИ в сторону ее упрощения на основе закона бинарной комплементарности фундаментальных взаимодействий [2], дипольно-тоннельной гидродинамической теории гравитационного взаимодействия и электромагнитных явлений [3] и постулатов о тождественности фундаментальных зарядов [4].

3. Системы СБК-1Т и СБК-1L получены в результате упрощения системы СБК-2LT (т.е. дальнейшего упрощения системы СИ) на основании 1-го постулата о тождественности фундаментальных зарядов [4].

4. Аббревиатура «СБК» расшифровывается как «Система физических величин, основанная на законе Бинарной Комплементарности фундаментальных взаимодействий».

Система измерений СБК-1:

Возможность получения из системы СБК-2LT системы единиц физических величин СБК-1 с одной (единственной) размерностью (и, соответственно, с одной единицей измерения физических величин) следует из следующего:

– из представленного в [4] 1-го постулата о тождественности фундаментальных зарядов, в соответствии с которым фундаментальные заряды при всех типах фундаментальных взаимодействий тождественны друг другу по своей размерности (здесь под фундаментальными взаимодействиями подразумеваются четыре типа фундаментальных взаимодействий, – гравитационное, магнитное, электрическое и фундаментальное X-взаимодействие [2]; при этом сильное и слабое взаимодействия не принимаются в рассмотрение в силу причин, указанных в [2]);

– представления о том, что все четыре перечисленных выше фундаментальные взаимодействия являются различными проявлениями некоторого единого фундаментального супервзаимодействия, а все четыре перечисленных выше типа фундаментальных зарядов являются различными проявлениями единого фундаментального суперзаряда [4].

Из этого, в частности, следует вывод о том, что все фундаментальные заряды могут быть безразмерными.

В системе СБК-2LT размерность всех фундаментальных зарядов (количества электричества – при электрическом взаимодействии; количества магнетизма – при магнитном взаимодействии; массы – при гравитационном взаимодействии;  $X$ -заряда – при фундаментальном  $X$ -взаимодействии [2], комплементарном гравитационному взаимодействию) равна  $L^2T^{-1}$ , а их единицами измерения является метр квадратный, деленный на секунду, т.е.  $m^2/c$ .

Отсюда следует, что безразмерность всех фундаментальных зарядов возможна при выполнении равенства  $T=L^2$ .

Системы измерений СБК-1Т и СБК-1L:

Таким образом, из системы СБК-2LT можно получить два варианта системы СБК-1:

– систему СБК-1Т, в которой единственной размерностью будет размерность времени  $T$  и которая получается из системы СБК-2LT путем замены у всех физических величин этой системы размерности длины  $L$  на размерность  $T$  в соответствии с равенством  $T=L^2$ ;

– систему СБК-1L, в которой единственной размерностью будет размерность длины  $L$  и которая получается из системы СБК-2LT путем замены у всех физических величин этой системы размерности времени  $T$  на размерность  $L$  в соответствии с равенством  $L=T^{0,5}$ .

### Список литературы

1. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Система единиц физических величин СБК-2LT // Современные проблемы науки и образования. – № 6 (приложение «Физико-математические науки»), 2010. – С. 6.

2. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Закон бинарной комплементарности фундаментальных взаимодействий // Современные проблемы науки и образования. – № 6 (приложение «Физико-математические науки»), 2010. – С. 4.

3. Бражников А.В., Юмшин Д.В., Хомич Л.В. Основные положения гидродинамической теории гравитационного взаимодействия и электромагнитных явлений // Сборник материалов межрегиональной научной конференции «Молодежь и наука - третье тысячелетие». – Красноярск: Изд-во КРО НС «Интеграция», 2005. – С. 260-265.

4. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Постулаты о тождественности фундаментальных зарядов // Современные проблемы науки и образования. – № 6 (приложение «Физико-математические науки»), 2010. – С. 5.

5. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Размерности физических величин в системе измерений СБК-2LT // Успехи современного естествознания. – № 7, 2011. – С. 248-252.

6. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Системы единиц физических величин СБК-1Т и СБК-1L // Современные проблемы науки и образования. – № 6 (приложение «Физико-математические науки»), 2010. – С. 6.

7. Бражников А.В., Шевцов С.Н., Белозеров И.Р. Размерности физических величин в системах измерений СБК-1Т и СБК-1L // Успехи современного естествознания. – № 7, 2011. – С. 252-254.



**СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН СБК-2LT ДЛЯ  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОСТАТИКИ И ГИДРОДИНАМИКИ  
ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Гурьянов Д.А., Федосова Е.Ю., Буторова А.А., Пасичник Я.В.  
научные руководители канд. техн. наук Минкин А.Н.,  
канд. техн. наук Бражников А.В.**

*Сибирский федеральный университет*

При решении ряда задач гидростатики и гидродинамики противопожарного водоснабжения оказывается весьма целесообразным использование систем измерений физических величин, в которых отсутствует размерность массы. Одной из таких систем единиц физических величин является система СБК-2LT, разработанная в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

Предварительные замечания:

1. В основе системы единиц физических величин СБК-2LT лежит международная систем единиц физических величин СИ.

2. Система СБК-2LT получена не в результате искусственного подбора базовых размерностей и основных единиц измерения, а в результате естественной трансформации системы СИ в сторону ее упрощения на основе закона бинарной комплементарности фундаментальных взаимодействий [1], дипольно-тоннельной гидродинамической теории гравитационного взаимодействия и электромагнитных явлений [2] и постулатов о тождественности фундаментальных зарядов [3].

Краткое описание системы единиц физических величин СБК-2LT:

Аббревиатура «СБК» в названии системы СБК-2LT расшифровывается как «Система единиц физических величин, основанная на законе Бинарной Комплементарности фундаментальных взаимодействий», а «2» - это количество основных (базовых) размерностей системы СБК-2LT, которыми являются две размерности:  $L$  - размерность длины и  $T$  - размерность времени. Соответственно основными единицами СБК-2LT являются «метр» и «секунда» для всех физических величин, как механики, так и электричества и магнетизма.

При этом (на основании [1-3]) единицы измерения «килограмм» и «ампер», использующиеся в системе СИ, выражаются следующим образом:

$$1 \text{ кг} = \frac{4\pi G^*}{c^*} \text{ м}^2/\text{с} \approx 2,796944143 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с}; \quad (1)$$

$$1 \text{ А} = \sqrt{4\pi G^* \mu_0^*} \text{ м}^2/\text{с}^2 \approx 3,246064762 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (2)$$

где  $G^*$  – безразмерная величина, численно равная значению гравитационной постоянной в системе СИ;  $G^* = 6,67259(85) \cdot 10^{-11}$ ;  $c^*$  – безразмерная величина, численно равная значению скорости света в вакууме в системе СИ;  $c^* \approx 2,99792458 \cdot 10^8$ ;  $\mu_0^*$  – безразмерная величина, численно равная значению магнитной постоянной в системе СИ;  $\mu_0^* \approx 12,566370614 \cdot 10^{-7}$ ;  $\pi \approx 3,14159$ .

Система СБК-2LT получается из системы измерений СИ путем замены размерности  $M$  на размерность  $L^2 T^{-1}$ , а также замены размерности  $I$  на размерность  $L^2 T^{-2}$ , т.е.

$$M = L^2 T^{-1}; \quad (3)$$

$$I = L^2 T^{-2}. \quad (4)$$

где  $M$  – размерность массы (соответствующая ей единица измерения в системе СИ – килограмм, кг);  $I$  – размерность силы электрического тока (соответствующая ей единица измерения в системе СИ – ампер, А).

При этом значения фундаментальных физических констант (а также и прочих численных значений) в системе СБК-2LT получаются из соответствующих численных значений, взятых из системы СИ, путем замены в последних единиц измерения «килограмм» и «ампер» в соответствии с приведенными выше выражениями.

В системе СБК-2LT размерность всех фундаментальных зарядов (количества электричества – при электрическом взаимодействии; количества магнетизма – при магнитном взаимодействии; массы – при гравитационном взаимодействии;  $X$ -заряда – при фундаментальном  $X$ -взаимодействии, комплементарном гравитационному взаимодействию) равна  $L^2 T^{-1}$ , а их единицами измерения является метр квадратный, деленный на секунду, т.е.  $m^2/c$ . Указанная размерность фундаментальных зарядов отличается от размерностей этих зарядов, приведенных, например, в [4-6].

Применение системы СБК-2LT позволяет упростить некоторые физические уравнения. В частности, в СБК-2LT уравнение связи между двумя комплементарными фундаментальными зарядами  $q(A)$  и  $q(B)$ , приведенное в [1], может быть получено в более простом виде:  $N(A)=E(A)/m$  или  $N(A)=dY(A)/dt$ , где  $N(A)$  – поверхностная плотность заряда  $q(B)$ ;  $N(A)=dq(B)/dS$ ;  $S$  – площадь;  $E(A)$  – скорость изменения заряда  $q(A)$  во времени;  $E(A)=dq(A)/dt$ ;  $t$  – время;  $m$  – масса;  $Y(A)$  – массовая плотность заряда  $q(A)$ ;  $Y(A)=q(A)/m$ .

### Список литературы

1. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Закон бинарной комплементарности фундаментальных взаимодействий // Современные проблемы науки и образования. – № 6 (приложение «Физико-математические науки»), 2010. – С. 4.
2. Бражников А.В., Юмшин Д.В., Хомич Л.В. Основные положения гидродинамической теории гравитационного взаимодействия и электромагнитных явлений // Сборник материалов межрегиональной научной конференции «Молодежь и наука – третье тысячелетие». – Красноярск: Изд-во КРО НС «Интеграция», 2005. – С. 260-265.
3. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Постулаты о тождественности фундаментальных зарядов // Современные проблемы науки и образования. – № 6 (приложение «Физико-математические науки»), 2010. – С. 5.
4. Бартини Р.Л. Некоторые соотношения между физическими константами // Доклады Академии наук СССР. – Том 163, № 4, 1965. – С. 861-864.
5. Чуев А.С. Физическая картина мира в размерности «длина-время». Серия «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: СИНТЕГ, 1999. – 96 с.
6. Новицкий В. «Камень преткновения» в физике? // Техника – молодежи. – № 5, 1990. – С. 18-21.
7. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Система единиц физических величин СБК-2LT // Современные проблемы науки и образования. – № 6 (приложение «Физико-математические науки»), 2010. – С. 6.
8. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Размерности физических величин в системе измерений СБК-2LT // Успехи современного естествознания. – № 7, 2011. – С. 248-252.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ СБРОСА ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА С САМОЛЁТА – АМФИБИИ БЕ-200ЧС ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ

Овечников Ю.В.

научный руководитель канд. пед. наук Масаев В.Н.

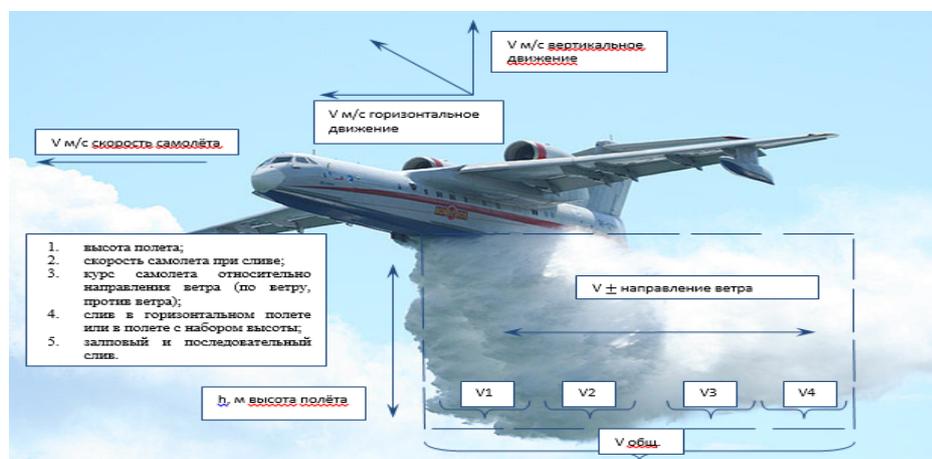
Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РОССИИ

Массированные лесные пожары, поражающие ежегодно в весенне-летний период территории центральной России, Алтая, Сибири и других регионов, поставили вопрос об эффективности организации борьбы с пожарами и адекватности технического оснащения. Когда пожары возникают неожиданно и переходят на верховые и возникает угроза уничтожения населенных пунктов и объектов экономики, тут самое мобильное средство – авиация [2]. Основными направлениями применения авиационной техники по тушению пожара с воздуха являются тушение пожара путем сброса на очаг воды, подачи других огнетушащих веществ и создание заградительных полос растворами огнезадерживающих химикатов и воды при защите от пожаров населенных пунктов и объектов [3].

Поверхностная интенсивность подачи огнетушащего вещества, при которой расход огнетушащего вещества будет минимальным и одновременно достаточным для прекращения горения, возможно определить через математическую модель для постановки алгоритма решения задач по определению значений требуемой поверхностной интенсивности подачи огнетушащих веществ  $J_{тр}$ ,  $(\frac{л}{с \cdot м^2})$  в зависимости от температурного режима ландшафтного пожара [4].

Для выбора оптимального режима сброса воды с самолёта необходимо создание модели, позволяющей рассчитать поверхностное распределение выпавшей жидкости по заданным входным параметрам учитывающим пространственное и наземное распределения жидкости в зависимости от метеоусловий (скорости и направления ветра) и условий сброса (высота сброса, скорость полета, количество сбрасываемой жидкости и т.п.) [5].

В целях изучения влияния различных параметров полета на удельные характеристики наземного распределения сброшенной с самолета воды и дисперсности водного аэрозоля варьировались следующие параметры, см.рис 1 [5].



**Рис. 1– Параметры сброшенной с самолета воды и дисперсности водного аэрозоля**

Для изучения дисперсного состава и концентраций водного аэрозоля использовались следующие методы: интегрально-оптический, фотоэлектрический метод, седиментационный [5].

Для получения требуемых значений фактической поверхностной интенсивности подачи огнетушащего вещества  $J_{\phi}$ ,  $(\frac{\text{л}}{\text{с} \times \text{м}^2})$ , необходимо управлять показателями масса сбрасываемой воды и время залпового сброса воды над очагом пожара. Соответственно использовать математическую модель для расчета пространственного и наземного распределения сбрасываемой воды, при различных показателях сброса.

Расчет сбрасываемого огнетушащего вещества (жидкости) с самолёта, предполагает решение трёхмерной нестационарной задачи гидродинамики для объёма заранее неизвестной формы и связности (с учетом его фрагментации, поверхностных волн, срыва капель и др.). В численных исследованиях популярным становится использование пакетов программ. Например с помощью пакета FlowVision рассчитывался сброс воды с самолёта Бе-200ЧС [6], см. рис.2

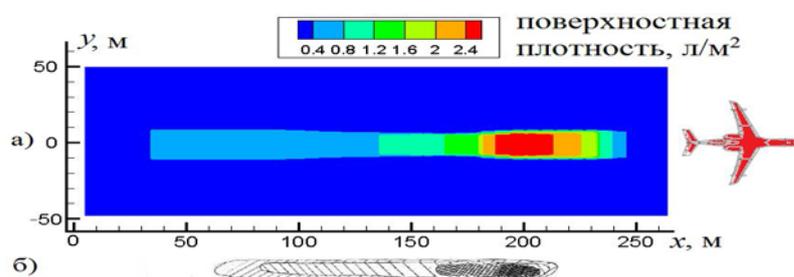


Рис.2 - Пример расчёта программы FlowVision

Влияние показателей полета самолета на характеристики наземного распределения сбрасываемой с самолета воды описаны математической моделью, результаты расчета по которой имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными. Применение модели расчёта пространственного и поверхностного распределения жидкости сбрасываемой авиационным средством, позволяет определять плотность орошения и наземного распределения жидкости при различных режимах полета [6]. Сброс жидкости из самолёта происходит достаточно интенсивно, и в начальный момент величина расхода может достигать 3 – 12 т/с. Для таких массивных сбросов наиболее применима следующая эмпирическая зависимость медианного диаметра капель от внешних воздействующих факторов:

$$d_m = (K_1 We^{-0,5} + K_2 Re^{-0,5}) \left( \frac{Q\delta}{K_3 U} \right)^{1/6}, \quad (1)$$

Где  $d_m$  – медианный диаметр капель, см;  $K_1 K_2 K_3$  – эмпирические коэффициенты;  $We$  – критерий Вебера;  $Re$  – критерий Рейнольдса;  $Q$  – Объёмный расход жидкости,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;  $\delta$  – характерный размер струи жидкости (диаметр или толщина), см;  $U$  – относительная скорость газа и жидкости, см/с.

Для правильного представления процесса оседания жидкости, вылитой из летящего самолёта, важно понять, как распределены капли жидкости по размерам:

$$F(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi G_e d}} \exp \left[ -\frac{\left( \ln \frac{d}{d_m} \right)^2}{2G_e^2} \right], \quad (2)$$

где  $F(d)$  – плотность вероятности;  $G_e$  – дисперсия логарифма диаметра частиц  $d$ ;  $d_m$  – медиана распределения

Образующиеся при сбросе капли и частицы жидкости участвуют в гравитационно – баллистическом движении и подвержены ветровому снесу. Последнее

особенно существенно для мелких частиц, поскольку чем меньше диаметр частиц, тем больше время их оседания. Начальные скорости частиц гасятся сопротивлением среды, а гравитация выводит их на установившиеся значения скорости оседания  $W(d)$ , которые для водяных капель описываются формулой

$$W(d) = 12,4 / \left[ 1 + \frac{1,7}{d} + \left( \frac{0,55}{d} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр частиц, мм.

Если считать территории плоскими, коэффициент сопротивления среды постоянным для частиц данного размера, а ветровым сносом пренебречь, то дифференциальные уравнения баллистического движения капель:

$$\dot{V}_x = - \frac{V_x \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{W^2(d)} g, V_x(0) = V_{x0}, \quad (4)$$

$$\dot{V}_y = - \frac{V_y \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{W^2(d)} g, V_y(0) = V_{y0}; \quad (5)$$

$$\dot{X} = V_x, X(0) = X_0; \quad (6)$$

$$\dot{Y} = V_y, Y(0) = Y_0, \quad (7)$$

где  $\dot{V}_x, \dot{V}_y$  – ускорения капли по соответствующим направлениям;  $V_{x0}, V_x, V_{y0}, V_y$  – начальные и текущие скорости капли по соответствующим направлениям;  $X_0, Y_0$  – начальные координаты капли.

для учёта горизонтального ветра составляющим в уравнение баллистики вводится третья координата  $V_z, Z = Z(t, X_0, Y_0, V_{x0}, V_{y0})$ .

Рассмотрим снос при горизонтальном полёте в направлении оси  $OX$  на высоте  $Y_0$  с постоянной скоростью  $V_H$ , постоянным секундным  $G$  и погонным  $g \frac{G}{V_H}$  расходами, перпендикулярно на правленным к линии полёта (сносящим) ветром  $V_G$ , временем слива  $t_0$  и длиной рабочего участка  $L_x = V_H \cdot t_0$ .

Предположения об известном распределении по размерам капель  $0 < F(d_{min} < d < d_{max}) < 1$ , о мгновенном торможении частиц и приобретении ими вертикальной скорости оседания  $W(d)$  позволяют получить полную картину пространственно-временного распределения частиц в воздухе и на земле в виде следующих соотношений пятимерного пространства  $(X, Y, Z, t, d)$ , где  $t \geq 0, 0 \leq X \leq L_x, d_{min} \leq d \leq d_{max}$  свободные координаты:

$$Y(X, t, d) = \sup\{\inf[Y_0; Y_0 - W(d) \left(t - \frac{X}{V_H}\right)]\},$$

$$Z(X, t, d) = \inf\{\sup[0; Y_B \left(t - \frac{X}{V_H}\right)]; V_B \frac{Y_0}{W(d)}\}, \quad (8)$$

Формулы (8) определяют геометрические частицы области распределения дисперсной фазы в вертикальной  $0 < Y < Y_0$  и горизонтальной плоскостях  $Y = 0$ .

Для расчёта наземной массовой концентрации жидкости используется формула пятимерного пространства

$$\Delta \left[ X, Y = 0, Z, t > \frac{Y_0}{W(d)}, d \right] = \frac{qF(d)W(d)}{W \cdot (d) Y_0 V_0}, \quad (9)$$

Для расчёта сноса по ветру линии оседания частиц с размером  $d$  от проекции линии полёта используется формула

$$\frac{Y_0 V_B}{W(d_{max})} \leq X(Y = 0, d) = \frac{Y_0 V_B}{W(d)} \leq \frac{Y_0 V_B}{W(d_{max})} \quad (10)$$

В итоге для расчётов массовой наземной концентрации  $C$ ,  $кг/м^3$ , с учётом турбулентных составляющих переноса капель используется формула

$$C = \int_0^t \int_{d_{min}}^{d_{max}} \frac{qF(d)}{2\pi \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2}} \exp\left\{ -\frac{[Z - Z(d)]^2}{2\sigma_z^2} \right\} \exp\left\{ \left[ -\frac{(X + \frac{L_x}{2})^2}{2\sigma_x^2} \right] + \exp\left[ -\frac{(X + \frac{L_x}{2})^2}{2\sigma_x^2} \right] \right\} dt dd \quad (11)$$

где  $u_x, Y_z$  - обобщённые коэффициенты диффузии;  $g$  – расход жидкости,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ .

В результате математического моделирования выявлены и описаны зависимостями основные закономерности, сопровождающие динамику макрообъёма жидкости, сбрасываемой с самолета. Математическая модель пригодна для предсказания поверхностного распределения выпавшей жидкости в режиме реального времени. Необходимо учитывать, что система сброса воды должна обладать достаточной производительностью и рабочей мощностью для преодоления сопротивления воздушного пространства с учётом преодоления пересечения векторов скорости самолёта и встречного потока воздуха. Значения высоты, обеспечивающие приемлемую эффективность сброса огнетушащего вещества и безопасность полета, с учетом высоты поднятия допустимой концентрации дыма ландшафтного пожара. А также преодоления расстояния огнетушащим веществом до зон наибольшей интенсивности при тушении ландшафтных пожаров, что является одной из основных задач по эксплуатации специального пожарного оборудования самолета [5].

Решение приходит с учетом возможной модернизации существующей системы управления специальным пожарным оборудованием самолета, созданием системы автоматического управления створками водяных баков работающих по заданному алгоритму с учётом заложенной в систему математической модели. Принцип работы которой предполагает, что бортовая модель тепловизора определяет объекты температурным контрастом, с дальнейшей передачей значений цифрового сигнала на приведение в действие необходимого алгоритма сброса воды.

Внедрение алгоритма математической модели системы автоматического сброса огнетушащего вещества с самолёта – амфибии Бе-200ЧС позволит улучшить тактико-технические характеристики специального пожарного оборудования используемого для целей пожаротушения, так же усовершенствовать приемы и способы использования авиации при тушении ландшафтных пожаров.

### Список литературы

1. Бессмертнов В.Ф. Пожарная тактика в вопросах и ответах/ В.Ф. Бессмертнов (редакция с изменениями и исправлениями). СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2010. 228 с.
2. «Применение авиации МЧС России при тушении лесных пожаров». Комментарий начальника управления авиации и авиационно-спасательных технологий Закирова Р.Ш./Официальный сайт МЧС России [Электронный ресурс]: <http://www.mchs.gov.ru/dop/info/smi/news/item/230117>
3. Москвилин Е.Л. «Применение авиации для тушения лесных пожаров» // Научно-технический журнал «Пожарная безопасность» №1 -2009.
4. Овечников Ю.В., Масаев В.Н. «Достижение заданных параметров тушения при локализации ландшафтных пожаров с воздуха». УДК 614.841.345 Электронный сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный-2015», Раздел «Пожарная безопасность», Красноярск, Сибирский Федеральный университет, 2015 С 30-32.
5. Кудров М.А. Динамика микро и макрообъемов сброшенной с самолета жидкости. Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Московский физико-технический институт, Москва -2010.
6. Копылов Н.П., Хасанов И.Р., Кузнецов А.Е., Федоткин Д.В., Москвилин Е.А., Стрижак П.А., Карпов В.Н. «Параметры сброса воды авиационными средствами при тушении лесных пожаров» // Научно-технический журнал «Пожарная безопасность» №2-2015.



## МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НУЖД МЧС

**Потриденный Д.В., Нечаева О.Г., Калинин Е.С., Моисейченко В.А.,  
Тючкалов А.А.**

**научные руководители д-р техн. наук Довженко Н.Н.  
канд. техн. наук Минкин А.Н., канд. техн. наук Бражников А.В.**

*Сибирский федеральный университет*

Проведение работ по тушению пожаров в лесных массивах, зачастую осуществляется в местах со сложным рельефом, в местах, где нет линий электропередач. Это может создавать определенные проблемы: нет возможности подзарядить аккумуляторы автомобилей, подключить дополнительное оборудование и т.д.

Для решения этой проблемы мы предлагаем модернизировать ветроэнергетическую установку для нужд МЧС. Принципиальное отличие заключается в том, что противоположные поверхности лопасти имеют симметричный профиль и покрыты слоями материалов, имеющих разные значения коэффициента теплопоглощения, при этом поверхности лопасти отделены друг от друга термоэкраном из механически прочного материала, обладающего теплоизоляционными свойствами.

В результате мы ожидаем увеличения подъемной силы, действующей на лопасть ветроколеса и, как следствие, увеличение КПД ветрогенератора.

Каждая лопасть ветроколеса, обладающая симметричным профилем, имеет две поверхности: поверхность, на которую воздействует подъемная сила (динамически активная поверхность), и противоположная ей поверхность (динамически пассивная поверхность). Обе поверхности соединяются друг с другом в задней и передней (по отношению к направлению ветропотока, при котором создается максимальный вращающий момент, действующий на лопасти ветроколеса) частях лопасти следующим образом:

- в задней части лопасти ее поверхности соединяются непосредственно друг с другом, образуя острый угол;
- в передней, утолщенной части лопасти, поверхности соединяются друг с другом с помощью закругленной кромки лопасти.

При этом поверхность, на которую воздействует подъемная сила, покрыта слоем материала, обладающим большим значением  $A_1$  коэффициента теплопоглощения, чем значение  $A_2$  коэффициента теплопоглощения слоя материала, покрывающего противоположающую ей поверхность лопасти ( $A_1 > A_2$ ).

При вращении ветроколеса обе поверхности каждой лопасти в одинаковой степени подвержены тепловому воздействию со стороны окружающей среды (солнечного излучения и прочего). При этом они нагреваются в разной степени, поскольку покрыты слоями материалов, имеющих неодинаковые значения коэффициента теплопоглощения: поверхность лопасти, на которую воздействует подъемная сила, нагревается больше, чем противоположающая ей поверхность.

В частности, степень нагрева поверхностей лопасти ветроколеса, при его вращении, зависит от цвета их покрытия. Например, если покрытие поверхности лопасти, на которую воздействует подъемная сила, имеет черный цвет, а противоположающая ей поверхность – белый цвет, то температура первой поверхности будет на нескольких десятках градусов Цельсия выше температуры второй поверхности, при одинаковом тепловом воздействии на эти поверхности.

Однако любое вещество, подвергающееся тепловому воздействию, не только поглощает тепловую энергию (т.е. нагревается), но и само становится источником теплового излучения в окружающую среду, нагревая окружающие его тела и вещества. Известно, что:

- в соответствии с законом Кирхгофа о теплопоглощении и излучении серого тела, чем больше тело поглощает тепловую энергию, тем больше энергии оно и излучает в окружающую среду;

- в соответствии с законом Стефана-Больцмана, энергия теплового излучения тела в окружающую среду тем больше, чем выше его температура (при условии, что тело, поглощая тепловую энергию, излучает только инфракрасное излучение, но не превращает и не излучает ее в виде электромагнитного излучения других диапазонов: радиоволн, начиная со сверхдлинных), терагерцового излучения, видимого света, а также ультрафиолетового, рентгеновского и жесткого излучений, что, как правило, и имеет место в ветроэнергетических установках.

Таким образом, при обтекании, например, воздухом нагретого тела, воздух тем больше нагревается, чем выше температура обтекаемого им тела. А чем выше температура воздуха, тем большей энергией он обладает.

Термоэкран, расположенный между противоположными поверхностями лопасти ветроколеса, препятствует теплообмену между этими плоскостями и способствует сохранению разности температур их нагрева, а также разности температур и энергий потоков воздуха, обтекающих противоположные поверхности лопасти.

В связи с вышесказанным, при обтекании воздухом лопасти ветроколеса (противоположные поверхности отделены друг от друга термоэкраном и покрыты слоями материалов, обладающих разными значениями коэффициента теплопоглощения), полная удельная энергия потока воздуха, обтекающего лопасть вдоль поверхности, обладающей большим значением  $A_1$  коэффициента теплопоглощения, вследствие его нагрева, будет больше полной удельной энергии потока воздуха, обтекающего противоположную вышеупомянутой (т.е. динамически пассивную) поверхность лопасти, покрытую слоем материала, обладающим меньшим значением  $A_2$  коэффициента теплопоглощения, то есть

$$e_1 > e_2, \tag{1}$$

где

$$e_1 = E_1/m_1, \tag{2}$$

$$e_2 = E_2/m_2, \tag{3}$$

$E$  и  $e$  – соответственно полная и полная удельная энергия элементарного потока воздуха, обтекающего поверхность лопасти ветроколеса, на которую воздействует подъемная сила;  $m$  – масса элементарного потока воздуха, обтекающего поверхность лопасти ветроколеса, на которую воздействует подъемная сила;

$$E_1 = A_1 \cdot \varepsilon, \tag{4}$$

$$E_2 = A_2 \cdot \varepsilon, \tag{5}$$

$\varepsilon$  – полная энергия теплового излучения, которому подвергаются обе поверхности лопасти ветроколеса со стороны окружающей среды (от солнечного излучения и прочего).

Поскольку в реальных ситуациях скорость обтекания ветроколеса воздухом имеет большие значения, то за время обтекания воздухом лопасти ветроколеса, воздух, находящийся в непосредственной близости от поверхностей лопасти ветроколеса, получивших энергию в результате воздействия на них теплового излучения со стороны окружающей среды (от солнечного излучения и прочего), – практически не успевает передать свою энергию, полученную от поверхностей лопасти, примыкающим к ней более холодным соседним массивам воздуха. Поэтому процессы, протекающие в воздухе в непосредственной близи от этой лопасти, можно рассматривать как адиабатические (т.е. изоэнтروпийные).

Кроме того, вследствие упомянутой выше скоротечности процессов, происходящих в непосредственной близости от лопасти ветроколеса, эти процессы можно рассматривать не только как адиабатические (изоэнтропийные), но и как изохорные, т.е. в течение этих процессов плотность воздуха практически не изменяется за время обтекания воздухом поверхностей лопасти ветроколеса.

Результирующая подъемная сила, действующая на лопасть ветроколеса, определяется по формуле:

$$F = F_0 + \Delta F = F_0 + \rho \cdot \Delta A \cdot \varepsilon \cdot S/M, \quad (6)$$

где  $F_0$  – подъемная сила, порожденная ненулевым углом атаки лопасти ветроколеса;

$\Delta F$  – увеличение подъемной силы, порожденное разностью температур потоков воздуха, обтекающих противоположные поверхности лопасти;

$\rho$  – плотность воздуха;

$\Delta A = A_1 - A_2$ ;

$A_1$  – коэффициент теплопоглощения материала, которым покрыта поверхность лопасти, на которую воздействует подъемная сила со стороны ветропотока;

$A_2$  – коэффициент теплопоглощения материала, которым покрыта противоположная ей поверхность лопасти;

$\varepsilon$  – полная энергия теплового излучения, которому подвергаются обе поверхности лопасти ветроколеса со стороны окружающей среды, от солнечного излучения и прочего;

$S$  – общая площадь поверхности лопасти, равная сумме площади поверхности лопасти, на которую воздействует подъемная сила со стороны ветропотока, и площади противоположной ей поверхности лопасти;

$M$  – масса потока воздуха, обтекающего лопасть ветроколеса в непосредственной близости от ее поверхности.

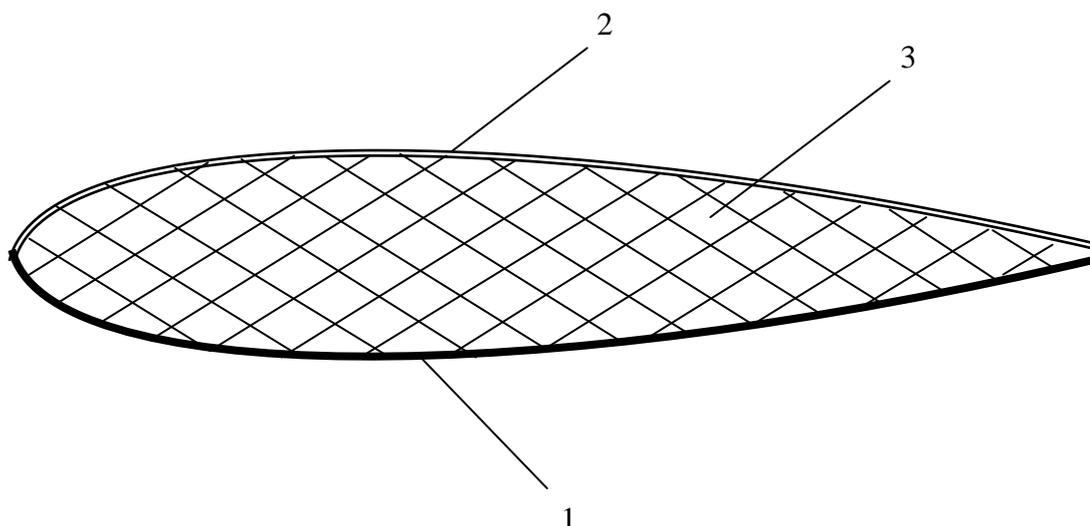
На рисунке 1 схематично изображена лопасть ветроколеса в поперечном сечении. Поверхность 1 лопасти ветроколеса, на которую воздействует подъемная сила, покрыта слоем материала, обладающим большим значением коэффициента теплопоглощения, чем противоположная ей динамически пассивная поверхность 2 лопасти. Поверхности 1 и 2 разделены термозкраном 3.

Лопасть используется следующим образом.

При обтекании потоком воздуха лопасти ветроколеса симметричного профиля, поверхность 1, покрытая слоем материала, обладающим большим значением коэффициента теплопоглощения, чем слой материала, которым покрыта поверхность 2, нагревается до более высокой температуры.

Вследствие этого, поверхность 1 нагревает обтекающий ее воздух до более высокой температуры, чем температура потока воздуха, обтекающего поверхность 2 лопасти. При этом энергия потока воздуха, обтекающего поверхность 1, и давление в нем становятся выше энергии и давления в потоке воздуха, обтекающем поверхность 2. В результате эта разность давлений приводит к увеличению подъемной силы, действующей на поверхность 1 лопасти ветроколеса. В свою очередь эта подъемная сила увеличивает вращающий момент, действующий на ветроколесо и передающийся ротору ветрогенератора. В итоге увеличивается напряжение на выходе ветрогенератора. Термоэкрэн 3, расположенный между противоположными поверхностями лопасти ветроколеса, препятствует теплообмену между этими поверхностями и способствует сохранению разности температур, а также разности энергий потоков воздуха, обтекающих противоположные поверхности лопасти, а следовательно, и увеличению напряжения на выходе ветрогенератора.

Технико-экономическая эффективность предлагаемого устройства заключается в более полном использовании энергии ветра при ее преобразовании в электрическую энергию, что выражается в повышении КПД ветрогенератора и увеличении напряжения на его выходе при неизменной скорости ветропотока.



**Рис.1 – Лопасть ветроколеса**

#### **Список литературы**

1. Эврика-70. М.: Молодая гвардия, 1970. 432 с.
2. Политехнический словарь / Под ред. А.Ю. Ишлинского. М.: Советская энциклопедия, 1989. 656 с.
3. Кондратьев В. Самый лучший профиль // Крылья Родины, № 2, 1987 г., с. 20-25.
4. Путилов К.А., Фабрикант В.А.. Курс физики. Том III. Оптика. Атомная физика. Ядерная физика. М.: ГИ ФМЛ, 1963г. 636 с.
5. Яворский Б.М. , Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов. М.: Оникс, 2006 г. 1056 с.

**РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЛОПАСТЕЙ  
ВЕТРОКОЛЕСА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
УСТАНОВКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ  
ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**Потриденный Д.В., Нечаева О.Г., Калинин Е.С., Моисейченко В.А.,  
Тючкалов А.А.**

**научные руководители д-р техн. наук Довженко Н.Н.,  
канд. техн. наук Минкин А.Н., канд. техн. наук Бражников А.В.  
Сибирский федеральный университет**

На сегодняшний день одной из наиболее первостепенных задач, стоящих перед нашим коллективом является создание экспериментальной (учебно-исследовательской) ветроустановки, лопасти которой обладают увеличенной подъемной силой.

При этом поверхность, на которую воздействует подъемная сила, покрыта слоем материала, обладающим большим значением  $A_1$  коэффициента теплопоглощения, чем значение  $A_2$  коэффициента теплопоглощения слоя материала, покрывающего противоположащую ей поверхность лопасти ( $A_1 > A_2$ ).

В таблице 1 приведены значения коэффициента теплопоглощения для ряда веществ и материалов.

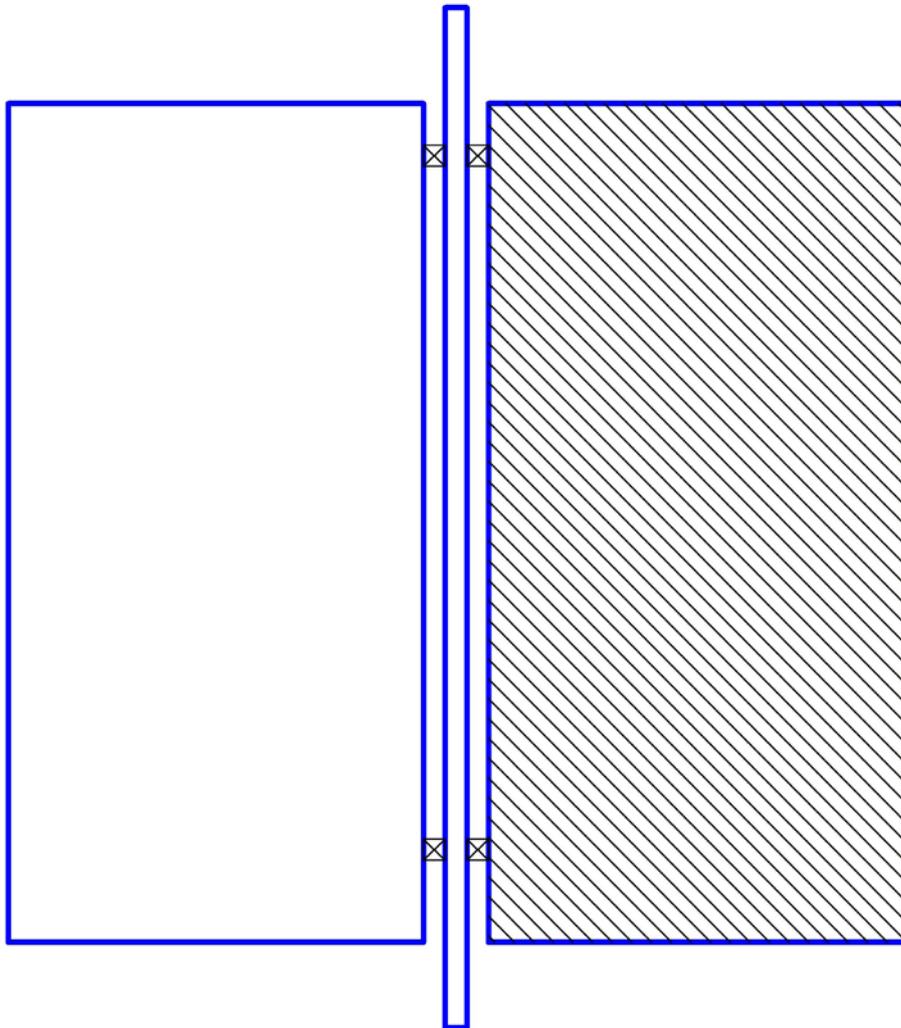
Таблица 1 - Значения коэффициента теплопоглощения

Вещества и материалы	Коэффициент теплопоглощения	Вещества и материалы	Коэффициент теплопоглощения
I. Окислы металлов		Шерсть, шелк	0,76
Железо	0,9		
Сталь	0,8	Хлопчатобумажная ткань	0,73
Чугун, латунь, свинец	0,6		
Медь	0,5	Вода	0,67
Никель	0,4	Лед	0,64
Цинк	0,2	III. Строительные материалы	
Алюминий	0,1	Каменная кладка	0,9
II. Различные вещества		Мел	0,85
Сажа	0,95	Дерево гладкое, штукатурка	0,8
Стекло	0,9		
Бумага	0,8	Песок	0,75
		Камни гладкие	0,4 – 0,7

Примером конкретного выполнения предлагаемой лопасти ветроколеса является лопасть, поверхность 1 которой, подверженная воздействию на нее подъемной силы, покрыта слоем стали (коэффициент теплопоглощения  $A_1 = 0,8$ ; см. таблицу 1), а противоположащая ей динамически пассивная поверхность 2 лопасти – покрыта слоем алюминия (коэффициент теплопоглощения  $A_2 = 0,1$ ; см. таблицу 1).



*Рис.1 – Вид спереди*



*Рис.2 – Вид сверху*

Ожидается, что при обтекании потоком воздуха лопасти ветроколеса поверхности, обладающим большим значением коэффициента теплопоглощения, нагревается до более высокой температуры. Вследствие этого эта же поверхность нагревает обтекающий ее воздух до более высокой температуры. При этом энергия потока воздуха и давление в нем становятся выше. В результате эта разность давлений приводит к увеличению подъемной силы, действующей на эту поверхность лопасти ветроколеса. В свою очередь эта подъемная сила увеличивает вращающий момент, действующий на ветроколесо и передающийся ротору ветрогенератора. В итоге увеличивается напряжение на выходе ветрогенератора.

#### **Список литературы**

1. Путилов К.А., Фабрикант В.А.. Курс физики. Том III. Оптика. Атомная физика. Ядерная физика. М.: ГИ ФМЛ, 1963г. 636 с.
2. Яворский Б.М. , Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов. М.: Оникс, 2006 г. 1056 с.

**РЕЛИКТОВЫЕ ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ ПРЕГРАДЫ**  
**Потриденный Д.В., Нечаева О.Г., Калинин Е.С., Моисейченко В.А.,**  
**Тючкалов А.А.**

**научные руководители д-р техн. наук Довженко Н.Н.,**  
**канд. техн. наук Минкин А.Н., канд. техн. наук Бражников А.В.**  
*Сибирский федеральный университет*

Освоение огня древними людьми стало переломным моментом в социальной эволюции человека, но одновременно с этим появилась проблема защиты от него.

Это сейчас, в современном мире, за счет стремительного развития научно-технического прогресса, появилось множество способов защиты от огня: различные огнезащитные пропитки, материалы с высоким пределом огнестойкости и т.д.

А раньше, один удар молнии мог уничтожить целое поселение, поэтому для защиты приходилось пользоваться тем, что было «под рукой»: вода, земля, камень. Но, вода была не везде. На земле, которой был засыпан огонь, могли вырасти новые растения. А камень, за счет своих природных особенностей, создавал хорошие преграды на пути огня. Отличным примером могут быть курумы.

Курум – в переводе с древне-тюркского языка означает «каменистые россыпи», «нагромождения острых камней», «обломки скал». Отличительная особенность курума: это обычно крупные глыбы — размер которых бывает от нескольких сантиметров в малом поперечнике до 1—2 метров, имеющих вид свежееобломанных, но никогда не окатанных, в движении при столкновении друг с другом и трении о подстилающую поверхность. Курум может занимать площадь от нескольких м<sup>2</sup> до колоссальных по размерам «полей» или «каменных морей».

Курумы образуются там, где на дневную поверхность выходят твердые горные породы. Чаще всего это горные районы или плато всех континентов. Курумы обычно образуются при разрушении различных видов известняков, кристаллических сланцев, гранитов, гнейсов, базальтов, долеритов, песчаников, кварцитов.

Но это все официальная теория, а если предположить, что курумы это не просто «каменные реки», которые были созданы природой, а средство сдерживания огня при пожаре. Это можно сделать хотя бы потому, что некоторые курумы проходят по лесным территориям. Они разделяют лес на части.



*Рис.1 – Курумник на Урале*

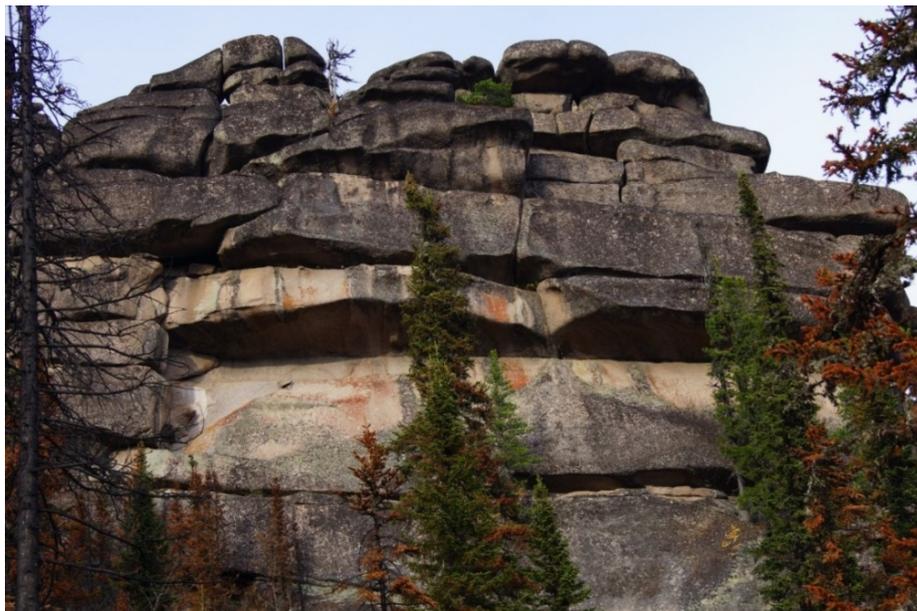


*Рис.2 – Каменная река на Фолклендских островах*

Есть, конечно же, курумы, которые существуют на степных территориях, это можно попытаться объяснить тем, что мы не можем однозначно говорить о том, что было на этом месте раньше, возможно там так и была степь, а может до этого здесь рос густой лес. Также не стоит забывать о том, что выветривание практически отсутствует, из этого можно сделать предположение, что не природа их создала курумы, а человек желающий защитить себя от огня.

Еще одним примером может служить Громадные мегалиты Горной Шории. В горах на юге Кемеровской области геологи обнаружили «стену» из нагроможденных друг на друга прямоугольных камней. По одной из версий, строение появилось еще во времена древней цивилизации.

Ученые рассматривают две теории происхождения строения. По одной из них, оно появилось еще во времена древней цивилизации. По другой версии, найденные камни — результат геологических процессов, связанных с сильным выветриванием скал Горной Шории.



*Рис.3 – Мегалиты Горной Шории*

В сентябре 2014 года в эти места была отправлена экспедиция и как утверждают сами геологи: перед нами стояла стена, сложенная из гигантских гранитных блоков, некоторые из которых достигали длины 20 метров, а высотой 6 метров. Интересно, что мегалитическая кладка местами чередовалась кладкой полигональной. И как утверждают сами геологи, на вершине стены они увидели следы древнего оплавления породы. Было ясно, что перед ними строения, разрушенные мощными термоядерными или какими-то другими взрывами, а раньше эти следы можно было оставить только огнем

Исходя из всего вышесказанного, также нельзя сделать однозначного вывода о происхождении Горной Шории.



*Рис.4 – Мегалиты Горной Шории*

Также нельзя не упомянуть Великую Китайскую стену. Давайте представим, что помимо известных причин её строительства (защита от набега кочевников и четкое обозначение границ) были и другие: например, защита территорий от пожара. Это предположение мы можем сделать на основании того, что каждые 250 метров, а иногда и ближе, на стене располагались пожарные вышки. Сигнал о приближении врага в виде горящего пламени ночью и густого дыма днем распространялся от крепости к крепости, в течение одного часа оповещая всю окружающую Великой стеной территорию, тем самым мобилизуя население на борьбу со стихией.

В этом контексте, стена выступает в качестве огнезащитной преграды.



*Рис.5 – Участок Великой Китайской стены*

Мы не можем с полной уверенностью утверждать, что все эти каменные сооружения были построены человеком и использовались для защиты от огня, но и не можем утверждать обратного. Теории доказываются и опровергаются, через 5, 10 или 50 лет.

В любом случае мы не узнаем всей правды, пока более детально не изучим нашу планету, ведь есть еще немало загадочных мест, которые до сих пор ставят мировых ученых в безвыходное положение.

#### **Список литературы**

1. Курумы: Каменные реки Урала (Россия). Режим доступа: <http://www.terra-z.ru/archives/30863>
2. Каменные реки на Южном Урале. Режим доступа: <http://interest-planet.ru/blog/Asia/84.html>
3. Мегалиты Горной Шории. Режим доступа: <http://oko-planet.su/phenomen/phenomenday/233183-v-gornoy-shorii-v-yuzhnoy-sibiri-naydeny-krupneyshie-megality-v-mire.html>
4. Загадка Горной Шории. Режим доступа: <http://xn--80ajoghfyj0a.xn--p1ai/zagadka-gornoy-shorii-cto-otkryl-georgiy-sidorov>
5. Древний Китай. Режим доступа: <http://izuchaem.info/drevnij-kitaj/>
6. Великая Китайская Стена. Режим доступа: <http://neobrigantina.ru/velikaja-kitajskaja-stena-5>

## РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Пчелкин А.В.

научный руководитель канд. техн. наук Данилов А.К.

*Сибирский федеральный университет*

В местах хранения и транспортировки огнеопасных веществ возможный пожар способен распространяться с большой скоростью и нанести серьёзный урон за довольно короткое время. Поэтому оперативное реагирование на возникновение очага возгорания может в значительной степени сократить возможный урон от пожара и предотвратить риск для жизни и здоровья людей. В связи с этим была поставлена цель: создать установку, предназначенную для тушения пожара на промышленных объектах в самом начале его возникновения. Прототипом разрабатываемой установки был выбран стационарный лафетный ствол, обладающий жесткой устойчивой конструкцией. Пример такого ствола изображён на рисунке 1.



*Рис.1 – Стационарный лафетный ствол*

Для того чтобы система пожаротушения имела возможность начать ликвидацию возгорания в момент его возникновения, она должна располагаться в непосредственной близости от возможного очага. В этом случае такая система должна соответствовать следующим требованиям:

- иметь дистанционное либо роботизированное управление, так как непосредственное участие человека в процессе тушения пожара в самом его очаге несёт серьёзную угрозу для жизни;
- обладать мощным и компактным приводом для точного наведения потока жидкости на место возникновения пожара;
- все элементы управления установкой должны быть максимально защищены от действия агрессивных условий среды, чтобы продолжать свою работу как можно большее время.

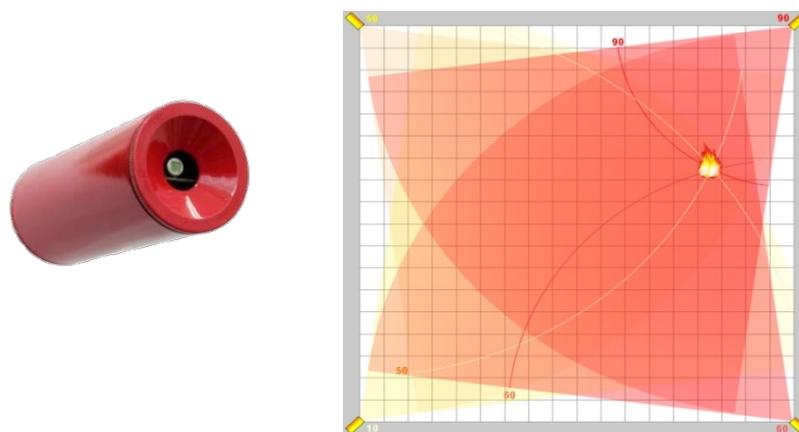
Последнее требование играет ключевую роль в работоспособности создаваемой системы пожаротушения, так как установка с незащищёнными элементами управления

будет подвержена температурной и механической деформации ответственных частей и быстро выйдет из строя. Причиной этому являются высокие температуры в районе очага возгорания, а также возможная детонация. Таким образом, основной задачей работы стала разработка системы управления пожарной установки, которая будет защищена от воздействия внешних агрессивных факторов рабочей среды.

При возникновении пожара разрабатываемая система должна работать в следующем порядке:

1. Система распознавания инфракрасного излучения реагирует на очаг возгорания;
2. Устройство управления по системе связи получает информацию о координате возникшего пожара;
3. Устройство управления передаёт команду на исполнительные механизмы для наведения ствола;
4. Ствол направляется на очаг возгорания, согласно установленной координате;
5. Происходит подача жидкости.

В качестве системы обнаружения пожара решено использовать систему раннего обнаружения пожара на базе датчиков контроля теплового потока, распределенных по площади защищаемого объекта (рисунок 2). Применение адресно-аналоговых датчиков контроля теплового потока позволяет решить проблему обнаружения пожара на ранней стадии его развития. Для определения координаты пожара в помещениях используется способ расстановки датчиков с образованием их оптическими осями пространственной оптической решетки. Полученная с датчиков информация о состоянии теплового фона и его мощности в контролируемых распределенными датчиками областях позволяет определять координаты пожара с заданной точностью, затрачивая минимальное время для обнаружения пожара, определять размеры пожара и передать информацию в цифровом виде на управляющие контрольно-адресные модули.



**Рис.2 – Датчик контроля теплового потока**

Алгоритмы определения координат пожара разрабатываются с учетом способа расстановки датчиков, характеристик пожарной нагрузки, особенностей функционирования технологического оборудования, характеристик горючей нагрузки, что позволяет прогнозировать возможное распространение опасных факторов пожара.

В процессе моделирования роботизированного пожарного ствола была разработана конструкция, изображенная на рисунке 3. Она состоит из лафетного ствола, способного изменять направление потока жидкости с помощью приводов и системы их управления, расположенных в металлическом корпусе, выделенным

красным цветом. Привод состоит из электродвигателя, приводящего в действие соосный эксцентриковый двухступенчатый редуктор, специально сконструированный для разрабатываемой установки [1]. Защита от высоких температур обеспечивается тем, что уязвимые элементы управления находятся внутри металлического корпуса и охлаждаются жидкостью, подающейся на ствол во время тушения. Компактное расположение привода без наружных уязвимых частей обеспечивает продолжение работы установки даже после небольшого взрыва в месте возникновения пожара.

Таким образом, в ходе разработки системы пожаротушения были достигнуты следующие результаты:

1. Найдено оптимальное решение проблеме своевременного реагирования на возгорание;
2. Разработана максимально компактная конструкция установки;
3. Подобран оптимальный привод, состоящий из двигателя и эксцентрикового редуктора и обеспечивающий оптимальное передаточное отношение и точность позиционирования;
4. Предусмотрена надёжная защита уязвимых частей металлическим корпусом и их охлаждение водой, подающейся на тушение пожара.



*Рис.3 – Предлагаемая конструкция системы пожаротушения*

Следующим этапом работы будет являться подбор и оптимизация системы роботизированного управления установкой.

#### **Список литературы**

1. Привалихин, Р. С. Эксцентриковый редуктор внутреннего эвольвентного зацепления / Р. С. Привалихин, А. К. Данилов // Молодежь и наука: сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию первого полета человека в космос. – Красноярск: Сибирский Федеральный Университет, 2011.

## **ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ, КАК ПРОИЗВОДНАЯ ОТ СГОРАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ**

**Сколкова Е.В., Чудинова С.Е.**

**научные руководители канд. техн. наук Бражников А.В.,**

**канд. техн. наук Минкин А.Н.**

*Сибирский федеральный университет*

Парниковый эффект считается одной из глобальных экологических проблем современности, так как благодаря ему, солнечное тепло задерживается у поверхности Земли и создает предпосылки для глобального потепления. Одним из источников данного процесса является выделение трехатомных газов в результате сжигания углеводородов, что ведет к появлению парникового эффекта на Земле, то есть общему потеплению климата, а также поступление газообразных углеводородов в атмосферу при газо-, нефтедобыче (природный и попутный газы), разрывах газопроводов, промышленных газообразных выбросах, испарениях при переработке, транспортировке, хранении, заполнении различных емкостей нефтью и нефтепродуктами, сушке лакокрасочных покрытий.

Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность оказывает существенное воздействие на окружающую среду. Это происходит на всех этапах «большого пути» нефти - от бурения поисковых скважин в процессе разведки до выброса парниковых газов при сгорании нефтепродуктов.

Пожары в резервуарном парке, вызванные разгерметизацией, разливом нефтепродукта, в результате которых создаются ЧС, представляющие угрозу людям, объектам экономики и окружающей природной среде – это аварии с разливом нефти, пожарами и загрязнением прилегающих территорий. Несмотря на повышенное внимание исследователей к проблемам безопасной эксплуатации вертикальных стальных резервуаров (РВС) и достаточно большое количество как отечественных (Ф.Ф. Абузова, В.Л. Березин, И.С. Бронштейн, В.А. и другие), так и зарубежных (И. Виггинс, М. Ирвинг, А. Нельсон, В. Робертсон, Т. Цутому и другие) работ, вопросам безопасной эксплуатации вертикальных стальных резервуаров с понтонами уделяется недостаточное внимание.

Статистические данные исследования пожаров предприятий нефтяной, нефтеперерабатывающей промышленности и системы нефтепродукто-обеспечения, наибольшая доля пожаров зафиксирована на распределительных нефтебазах – 47,7%, 28,4% - на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), 14,2% - на нефтепромыслах и 9,7% пожаров - в системе транспорта нефти. На наземных резервуарах произошло 93,4% пожаров и аварий из общего их числа[1].

Пожары в резервуарных парках, как правило, охватывающие множество близ стоящих резервуаров, кроме колоссального материального ущерба (5-10 млн. дол.) наносят непоправимый ущерб экологии, в результате нарушения естественного баланса парниковых газов в атмосферу.

Увеличение концентрации парниковых газов в настоящее время вызывает особую тревогу, так оно приводит к нагреванию поверхности Земли и нижней атмосферы и является одной из основных причин наблюдаемого в последние десятилетия потепления климата.

Часть солнечной радиации, оставшаяся после отражения, поглощается земной поверхностью и переходит в тепло. Как известно, всякое тело, имеющее температуру, отличную от абсолютного нуля, является источником излучения. Земная поверхность

излучает длинноволновую радиацию в области спектра 4 — 120 мкм. Эта радиация называется собственным излучением земной поверхности. Атмосфера нагревается в результате сравнительно малого поглощения коротковолновой солнечной радиации и сильного поглощения собственного излучения земной поверхности. Нагретая таким образом атмосфера излучает инфракрасную радиацию примерно в том же диапазоне длин волн, что и земная поверхность. Атмосферная радиация, направленная вниз, называется встречным излучением. Схема представлена на Рисунке 1.

Таким образом, в дополнение к поглощенной солнечной радиации встречное излучение атмосферы — важный источник тепла для земной поверхности. С увеличением облачности встречное излучение возрастает, поскольку сами облака сильно излучают длинноволновую радиацию. Газы, создающие в атмосфере экран, задерживающий инфракрасные лучи, и способствующих в результате этого нагреванию поверхности Земли и нижних слоев атмосферы, называются парниковыми. Они присутствовали в атмосфере в незначительном количестве почти на всем протяжении истории Земли, однако, в последние десятилетия их количество в несколько десятков раз.

Причиной парникового эффекта является ряд различных газов, содержащихся в атмосфере Земли. В количественном отношении при создании парникового эффекта первое место занимает испарение воды; на втором месте стоит  $\text{CO}_2$  и другие трехатомные газы, выделяющиеся при сгорании углеводородов (оксид азота, оксид серы), далее следуют метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПГУ), гексафторид серы ( $\text{SF}_6$ ).



Рис.1 – Схема энергетических потоков

На содержание водяного пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ) в атмосфере хозяйственная деятельность человека не оказывает заметного прямого влияния вследствие его большого количества.

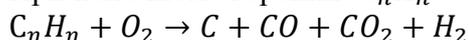
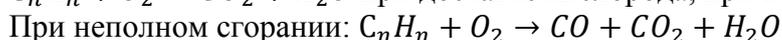
Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) является наиболее важным из перечисленных выше парниковых газов по влиянию на климат.

В четвертом оценочном докладе МГЭИК отмечается беспрецедентное по скорости увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере за последние 250 лет. Согласно данным ледниковых кернов в Антарктике, концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере в ледниковые периоды составляла  $\sim 190$  ppm (миллионных долей), а в межледниковые периоды  $\sim 280$  ppm. В течение последних 10000 лет она изменялась не более чем на 20 ppm, причем эти изменения были обусловлены естественными причинами. После 1750 г. Концентрация  $\text{CO}_2$  увеличилась на 35% и в настоящий момент составляет примерно 385 ppm.

Содержание закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$  в атмосфере увеличилось на 18% к 2005 г. По сравнению с его содержанием в доиндустриальный период (270 ppb) и составило 319 ppb. Скорость увеличения составляла 0,8 ppb в год в течение нескольких десятков лет.  $\text{N}_2\text{O}$  принадлежит важная роль в химии атмосферы, поскольку этот газ является источником  $\text{N}_2\text{O}$ , разрушающего стратосферный озон.

Еще один фактор, влияющий на парниковый эффект, непосредственно связан с человеческой деятельностью – это выбросы сажи, которые оказывают влияние на поглощение солнечной энергии атмосферой и поверхностью. Мелкодисперсная сажа – это частицы аморфного углерода размером менее 5 микрон. Они образуются при термическом разложении или неполном сгорании углеводородов. Некоторые современные исследования показывают, что сажа – второй наиболее значимый фактор современного потепления климата, после парникового эффекта от углекислого газа, ее вклад в потепление может достигать 15-30%.

В процессе исследования были проведены расчеты выбросов химических веществ в атмосферу при сгорании углеводородов. В общем виде уравнение сгорания углеводородов имеет вид:



Причем компоненты входящие в состав нефтепродукта окисляются до трехатомных газов:  $\text{N} \rightarrow \text{NO}_2$ ,  $\text{S} \rightarrow \text{SO}_2$ .

Далее необходимо вычислить количество вредных веществ, выделяющихся в атмосферу при горении нефтепродукта в резервуарах. Максимальный выброс по времени соответствующий раннему периоду устойчивого горения нефтепродукта, был посчитан по формуле 1:

$$P_1 = K_j \cdot m_j \cdot S_{max}, \text{ кг/час} \quad (1)$$

где  $P_1$  – количество конкретного (i) ВВ, выброшенного в атмосферу при сгорании конкретного (j) нефтепродукта в единицу времени, кг/час;

$K_j$  – удельный выброс конкретного ВВ (i) на единицу массы сгоревшего нефтепродукта,  $\text{кг}_1/\text{кг}_j$ ;

$m_j$  – скорость выгорания нефтепродукта,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ ;

$S_{cp}$  – средняя поверхность зеркала жидкости,  $\text{м}^2$ .

Расчеты были проведены для вертикального стального резервуара с понтоном объемом 5 тонн  $\text{м}^3$ , наполненного бензином автомобильным. Были получены следующие значения, представленные в таблице 1.



Таблица 1– Результаты расчета максимального выброса веществ

Название вещества	Максимальный выброс (г/с)
Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	12,805
Азот (II) оксид (Азота оксид)	2,081
Гидроцианид (Водород цианистый)	1,060
Углерод (Сажа)	1,590
Сера диоксид-Ангидрид сернистый	1,272
Дигидросульфид (Сероводород)	1,060
Углерод оксид	329,660
Углерод диоксид	1060,000
Формальдегид	0,530
Этановая кислота (Уксусная кислота)	0,530

Таким образом, проведенные в данной работе расчеты итогового выброса в процессе сгорания 5т. м<sup>3</sup> бензина в резервуаре (D=20,92м и H=15м), по основным трехатомным газам составляют: диоксид углерода – 5,7 тонн кг, водяной пар – 982 тыс. кг, диоксид азота – 68 кг, диоксид серы 6,8 кг, а также углерод в виде мелкодисперсной сажи – 8,5 кг.

Выводом данной работы, является необходимость особого внимания к повышению пожаровзрывобезопасности резервуаров с нефтепродуктами, а также привлечение максимальных усилий, направленных на ликвидацию пожаров в короткий срок. Так как в результате наносится не только серьезный материальный ущерб, а также колоссальный экологический, в атмосферу выделяются трехатомные газы, ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ) создающие парниковый эффект.

Усиление парникового эффекта способствует изменениям климата, которые заключаются в повышении температуры и изменении частоты и интенсивности осадков. Из-за глобального потепления тают ледники, повышается уровень моря, возникает угроза биологическому разнообразию, гибнут посевы, пересыхают источники пресной воды, все это в целом негативно влияет не только на качество жизни, но и на здоровье человека.

Следовательно, для уменьшения вероятности возникновения аварий необходимо повысить эксплуатационную надежность резервуаров с нефтепродуктами.

### Список литературы

- 1 Статистика пожаров на нефтебазах. [электронный ресурс].Режим доступа: [http://ros-pipe.ru/clauses/statistika\\_pozharov\\_na\\_neftebazakh](http://ros-pipe.ru/clauses/statistika_pozharov_na_neftebazakh)
2. Фомина Е.Е..Учебное пособие по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов с использованием программы «Горение нефти». -М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009.-35 с.

## **СНИЖЕНИЕ ПОЖАРООПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ГИБРИДНЫМИ ПРИВОДАМИ**

**Яржомбек П.Г., Семина А.А.**

**научные руководители д-р техн. наук Довженко Н.Н.,  
канд. техн. наук Минкин А.Н., канд. техн. наук Бражников А.В.**

*Сибирский федеральный университет*

К числу основных недостатков современных тяговых гибридных приводов (в частности, тепловозов), базирующихся на использовании электродвигателей переменного тока, относится высокий уровень потерь энергии в преобразователях частоты и высокая температура нагрева последних, обуславливающая повышенную пожароопасность тепловозов. Эти потери обусловлены высокой частотой переключения вентиляльных элементов инвертора, входящего в состав преобразователя частоты со звеном постоянного тока (ПЧПК). Основными элементами ПЧПК, как правило, используются силовые транзисторы (известно, что основная доля потерь в транзисторном вентиле приходится на переходные процессы, т.е. на периоды перехода транзистора из закрытого состояния в открытое и обратно).

В 2012 г. концерном Samsung Group (Южная Корея) решение этой проблемы было названо одной из приоритетных задач в области электрических транспортных средств всех типов (в том числе и тех, в которых применяются тяговые гибридные системы) и был объявлен конкурс на получение соответствующего гранта.

Результаты исследований, проведенных авторами данной работы, показывают, что одним из наиболее эффективных путей решения этой проблемы является построение гибридной системы привода на базе многофазных (т.е. имеющих число фаз более четырех) асинхронных электродвигателей. Перспективам применения многофазных асинхронных линейных и нелинейных электроприводов в области железнодорожного транспорта ими был посвящен ряд статей.

Однако увеличение числа фаз асинхронного электропривода позволяет не только улучшать ряд его технико-экономических показателей, но и создать тяговые гибридные приводы тепловозов по схеме “дизельный генератор – асинхронный двигатель (двигатели)”, которые будет кардинально отличаться от существующих и иметь более простую конструкцию и систему управления, а также меньшие потери энергии по сравнению с аналогичными существующими гибридными приводами, построенными на базе трехфазных асинхронных двигателей и содержащими в своем составе преобразователи частоты. Эти тяговые гибридные приводы нового поколения основаны на использовании многофазных дизельных генераторов и нетрадиционно управляемых многофазных асинхронных двигателей.

В данной работе представлены основные принципы построения таких гибридных тяговых приводов нового поколения. К числу этих базовых принципов относятся следующие:

- 1) увеличение более четырех числа фаз дизель-генератора и питаемого от него асинхронного двигателя (двигателей);
- 2) применение такого нетрадиционного способа управления многофазным асинхронным двигателем как фазно-полюсное управление (ФПУ);
- 3) использование ряда нетрадиционных конструктивных решений для построения многофазных асинхронных электродвигателей с ФПУ.

Многофазный асинхронный двигатель с ФПУ по сути дела представляет собой многоскоростной электродвигатель, но имеющий только одну обмотку статора (для

всех скоростей), не более сложную, чем обмотка статора односкоростного 3-фазного асинхронного двигателя.

Увеличение числа фаз дизель-генератора и питаемого от него асинхронного двигателя (двигателей) более четырех необходимо для обеспечения возможности применения в системе гибридного привода ФПУ, использование которого позволит обеспечить:

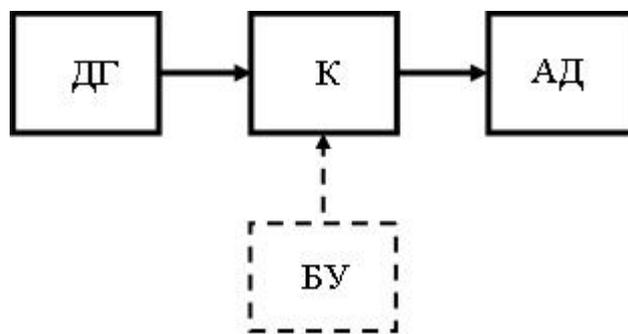
- широкий диапазон регулирования скорости асинхронного двигателя;
- достаточно малый шаг дискретного изменения скорости вращения двигателя в процессе ее регулирования.

Количество дискретных значений скорости, которые могут быть получены при использовании многофазного двигателя с ФПУ, возрастает с ростом числа фаз двигателя. При этом с ростом числа фаз появляется возможность для уменьшения шага дискретного изменения скорости за счет соответствующего выбора рабочих значений параметра  $H$  – основного параметра ФПУ.

Реализация ФПУ может быть сведена к простому изменению порядка подключения фазных обмоток статора многофазного асинхронного двигателя к фазам многофазного генератора переменного тока, т.е. 1-я фаза двигателя подключается не к 1-й фазе генератора, а например, к 3-й; 2-я фаза двигателя подключается не ко 2-й фазе генератора, а например, к 5-й и т.д.

Вследствие этого в многофазной системе гибридного привода для реализации ФПУ нет необходимости использовать преобразователь частоты для регулирования скорости вращения ротора двигателя. Вместо него в гибридном приводе нового поколения может быть использован тиристорный или электромеханический коммутатор. Частота переключения вентильных элементов такого коммутатора будет в сотни раз ниже частоты переключения транзисторов преобразователя частоты в системе привода традиционного типа. Вследствие этого потери энергии в системе тягового гибридного привода нового поколения будут значительно меньше, чем в существующих системах, в состав которых входят преобразователи частоты. При этом алгоритмы управления вентильными элементами коммутатора (а, следовательно, и их реализация) в системе нового поколения будут существенно проще (по сравнению с аналогичными существующими инверторными гибридными приводами).

Функциональная схема силовой части предлагаемого тягового гибридного привода тепловоза представлена на рис. 1, где ДГ –  $m$ -фазный дизель-генератор переменного тока, К – тиристорный или электромеханический коммутатор, АД –  $m$ -фазный асинхронный двигатель, БУ – блок управления системой тягового гибридного привода.



**Рис.1 - Функциональная схема силовой части тягового гибридного привода нового поколения**

В такой системе гибридного привода изменение скорости вращения ротора асинхронного двигателя осуществляется за счет изменения варианта соединения выходных контактов  $m$ -фазного дизель-генератора ДГ с входными контактами (т.е. с фазными обмотками)  $m$ -фазного асинхронного двигателя АД. Это изменение реализуется с помощью коммутатора К в соответствии с соответствующими сигналами, поступающими с блока управления БУ системой тягового гибридного привода.

При этом дизель-генератор работает постоянно в оптимальном режиме, с максимальным КПД.

Сущность ФПУ заключается в том, что при его использовании изменение скорости вращения магнитного поля в воздушном зазоре двигателя переменного тока осуществляется за счет изменения величины фазового смещения  $\alpha$  между напряжениями (токами) соседних фаз двигателя в некоторое целое число раз  $H$  (по сравнению с традиционным управлением) без какого-либо изменения частоты и амплитуды этих напряжений (токов), т.е. при ФПУ  $\alpha_H = H \cdot \alpha_T$ , где  $H$  – параметр ФПУ, некоторое целое число;  $\alpha_T$  – величина угла фазового смещения  $\alpha$  при традиционном управлении;  $\alpha_T = 2\pi / m$ ;  $\alpha_H$  – величина угла фазового смещения  $\alpha$  при ФПУ.

Значение  $H = 1$  соответствует традиционному управлению асинхронным двигателем, а значение  $H > 1$  – ФПУ.

Изменение фазового смещения  $\alpha$  осуществляется за счет упомянутого выше электронного или механического коммутатора, установленного между многофазным дизель-генератором и многофазным асинхронным двигателем. При этом варьирование значения параметра  $H$  ФПУ осуществляется за счет изменения варианта соединения фаз дизель-генератора с фазами двигателя.

При использовании ФПУ, когда параметр  $H$  изменяется, наблюдается эффект, адекватный одновременному изменению и числа фаз, и числа пар полюсов двигателя. При этом соответствующим образом изменяются и синхронная скорость вращения, и максимальный момент двигателя (синхронная скорость обратно пропорциональна значению параметра  $H$ , а максимальный момент двигателя прямо пропорционален значению  $H$ ).

Таким образом, применение ФПУ позволяет изменять скорость вращения ротора двигателя без изменения частоты питающего напряжения.

Электронный или механический коммутатор должен осуществлять соединение фаз дизель-генератора с фазами двигателя в соответствии со следующим алгоритмом:

$$i_M = N_1 - N_2,$$

где  $N_1 = H \cdot (i_{in} - 1) + 1$ ,  $N_2 = 0$  если  $H = 1$ ,  $N_2 = m \cdot \text{Int}\{(N_1 - 1) / m\}$  если  $H \geq 2$ ,  $i_M$  – номер фазы обмотки статора асинхронного двигателя,  $i_{in}$  – номер фазы дизель-генератора,  $\text{Int}\{(N_1 - 1) / m\}$  – целая часть числа  $(N_1 - 1) / m$ .

Полученные на сегодняшний день результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Предлагаемые принципы построения системы тягового гибридного привода тепловоза кардинально отличаются от существующих и позволяют рассматривать предложенную систему как новое поколение гибридного привода.

2. Построение гибридного привода на базе многофазных дизель-генераторов и асинхронных электродвигателей позволяет исключить из системы привода преобразователь частоты, заменить его коммутатором с низкой частотой работы вентильных элементов и тем самым значительно улучшить энергетику системы привода и снизить пожароопасность тепловоза.