

**Плеханова Юлия Михайловна**

**УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ПЕРСОНАЛА  
НА ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ОЧИСТКИ И ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Челябинск

2011

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» на кафедре «Электротехника».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
**Кирпичникова И.М.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Кузнецов К.Б.;**  
доктор технических наук, доцент  
**Богданов А.В.**

Ведущее предприятие – ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» (УрФУ),  
г. Екатеринбург.

Защита состоится 24 февраля 2011 г, в 10.00 часов, в ауд. 1013 на заседании диссертационного совета Д 212.298.05 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан 18 января 2011 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, гл. корпус, Учёный совет ЮУрГУ, тел./факс: (351) 267-98-94, e-mail: j-plech@mail.ru

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор



Ю.С.Усынин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Электроэнергетика является одной из базовых отраслей экономики, во многом определяющей развитие других отраслей и сферы потребления. Надежное и эффективное функционирование энергетической системы страны, бесперебойное снабжение потребителей в значительной степени зависит от надежной работы системы диспетчерского управления электроэнергетикой.

На современных энергосистемах работает высококвалифицированный оперативно-диспетчерский персонал, пользующийся автоматизированными системами управления, состоящими из средств связи, телемеханики, вычислительной техники, систем автоматики и комплексов программного обеспечения. Деятельность диспетчерского персонала связана с большими эмоциональными нагрузками и психологическим напряжением, что обусловлено повышенной ответственностью за нормальный режим работы энергосистемы. Работа с компьютерной техникой характеризуется дополнительным воздействием на работников целой группы вредных факторов.

Одним из вредных факторов на рабочем месте, оборудованном персональной электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ), является недостаток легких аэроионов в воздухе. Воздействие этого фактора оказывает негативное влияние на работоспособность и производительность персонала, их самочувствие, может быть причиной головных болей, сонливости, повышенной утомляемости. Ошибочные действия диспетчерского персонала могут привести к непрогнозируемым ситуациям и авариям, поэтому создание санитарно-гигиенических условий труда, повышение за счет этого производительности, работоспособности и сохранение здоровья персонала является актуальной задачей.

Одним из направлений улучшения условий труда по качеству воздуха в помещении диспетчерских энергосистем является использование устройств для ионизации воздуха.

Анализ научных направлений в области разработки средств для обработки воздуха показывает, что в большинстве случаев в аппаратах для ионизации воздуха не предусмотрена предварительная его очистка. Вместе с тем, ионизация не может быть эффективной, если воздух помещения содержит пылевые частицы. Поэтому разработка устройств для обработки воздуха применительно к рабочему месту, оборудованному ПЭВМ, обеспечивающих санитарно-гигиенические нормы, является также актуальной. Перспективно в этом плане применение электростатических фильтров-ионизаторов (ЭСФ-ионизаторов), в которых происходит и очистка, и ионизация воздуха.

Работа поддержана грантом по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»), осуществляемой Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям и Федерального агентства по образованию.

**Цель работы:** улучшение условий труда диспетчерского персонала энергосистем за счет разработки и использования устройства для очистки и ионизации воздуха.

**Идея работы:** совмещение функций очистки и ионизации воздуха в одном устройстве позволит улучшить состояние воздушной среды по показателям аэроионного состава на рабочем месте, оборудованном ПЭВМ, применение диэлектрических пластин в конструкции ЭСФ-ионизатора обеспечит его электробезопасность, а использование конвективных потоков в работе устройства решает вопросы энергосбережения.

**Научные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Аэроионный состав диспетчерских энергосистем не отвечает санитарно-гигиеническим требованиям по количеству легких аэроионов, концентрация которых зависит от загрязненности воздуха пылевыми частицами.

2. Степень очистки воздуха от пылевых частиц в ЭСФ-ионизаторе зависит от мощности источника конвективного потока, используемого в работе устройства.

3. Разработанная конструкция ЭСФ-ионизатора с диэлектрическими осадительными пластинами и ионизирующими иголками обеспечивает очистку и ионизацию воздуха в рабочей зоне, что позволяет улучшить условия труда диспетчерского персонала по показателям аэроионного состава.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается аргументированностью исходных посылок, вытекающих из санитарно-гигиенических требований к качеству воздуха, удовлетворительным совпадением результатов теоретических исследований с результатами экспериментов.

**Научное значение работы** заключается в том, что

– на основе теоретических и экспериментальных исследований обосновано использование конвективных потоков для работы ЭСФ-ионизатора;

– получена аналитическая зависимость степени очистки воздуха от мощности источника конвективного потока;

– получены аналитические зависимости степени очистки воздуха ЭСФ-ионизатором от его геометрических и режимных параметров;

– разработана конструкция ЭСФ-ионизатора и источника высокого напряжения к нему. (Патенты РФ №68634, №68365).

**Практическое значение работы** заключается в следующем:

– разработанный ЭСФ-ионизатор воздуха позволяет создать комфортные условия по аэроионному составу воздуха для работающих на ответственных объектах энергетики;

– полученные результаты исследований позволяют использовать идею совмещения основных функций любого устройства, генерирующего конвективные потоки с функцией очистки и ионизации воздуха.

**Реализация выводов и рекомендаций работы**

Разработанный фильтр-ионизатор прошел производственные испытания и внедрен в диспетчерской ОАО «Курганэнерго» Западные электрические сети».

Результаты исследования степени очистки воздуха устройством используются в учебном процессе ЮУрГУ.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на ежегодных научных конференциях ЧГАУ (Челябинск, 2006–2007 гг.), на научно-технической конференции Южно-Уральского государственного университета (2008 г.); на I международной научно-практической конференции «Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, практика применения» (Улан-Удэ, 2008 г.), на IV-й Международной конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» Южно-Уральского государственного университета (Челябинск, 2009 г.), на Всероссийской научно-практической конференции «Экологическая безопасность и современные технологии» (г. Миасс, 2009 г.).

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 11 печатных работах, из них 2 – в журналах, рекомендованных ВАК; получено два патента РФ на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы (из 120 наименований), приложений; и содержит 123 страницы основного текста, в т. ч. 39 рисунков и 11 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе "Состояние вопроса и задачи исследования"** рассмотрена специфика трудовой деятельности оперативно-диспетчерского персонала энергосистем. Анализ организации условий труда диспетчеров показал, что их работа характеризуется сменным режимом труда, необходимостью восприятия и переработки большого объема аудио-визуальной информации для принятия решений, значительными зрительными и нервно-эмоциональными нагрузками. При оценке напряженности труда установлено, что по комплексу показателей, характеризующих интеллектуальные нагрузки, она по всем показателям относится к классу 3.2. По комплексу показателей, характеризующих эмоциональные нагрузки, напряженность труда диспетчеров по «степени ответственности за результат собственной деятельности, и цене ошибки» соответствует классу 3.2. Установлено, что кроме высокой напряженности, условия труда диспетчеров характеризуются воздействием комплекса других неблагоприятных факторов производственной среды (неоптимальные параметры микроклимата, освещенности на рабочих местах, пониженное содержание легких в воздухе аэроионов и др.).

Комплексное воздействие неблагоприятных производственных факторов оказывает негативное влияние на функциональное состояние организма работающих, что в свою очередь сказывается на снижении уровня здоровья и надежности профессиональной деятельности персонала, что может привести к ошибкам при выполнении производственных задач. Ошибочные действия

диспетчерского персонала могут привести к серьезным последствиям, например, к сбоям в работе больших энергосистем.

Для реализации диспетчерского руководства используется особая организация рабочих мест и большой комплекс технических средств. Каждое рабочее место оборудовано ПЭВМ с комплексом жидкокристаллических мониторов (ЖК-мониторов), количество которых определяется профилем и функциональными обязанностями диспетчера; средствами связи, позволяющими диспетчеру наблюдать за обстановкой на своем участке, вести переговоры. Наличие на рабочем месте ПЭВМ характеризуется дополнительным воздействием на работников целой группы вредных факторов, одним из которых, является недостаток легких аэроионов.

В обычном городском помещении (без ПЭВМ и кондиционеров) число легких аэроионов не превышает 200–500 ионов/см<sup>3</sup> до начала рабочего дня, а к концу дня их уровень падает до 25–50 ионов/см<sup>3</sup>, в то время как число тяжелых, средних аэроионов возрастает до сотен тысяч единиц. Субъективно недостаток легких (отрицательных) аэроионов во вдыхаемом воздухе выражается в ощущении не свежести воздуха и нехватки кислорода. Наибольшее число жалоб, предъявляемых в условиях аэроионной недостаточности: неудовлетворительное самочувствие, повышенная утомляемость, частые головные боли, сонливость.

По данным аттестации рабочих мест диспетчерского персонала регионального диспетчерского управления (РДУ), центра управления сетями (ЦУС), оперативно-диспетчерских служб производственных отделений ЧГЭС и ЦЭС установлено, что на рабочих местах наблюдается низкая концентрация легких аэроионов (рис. 1).

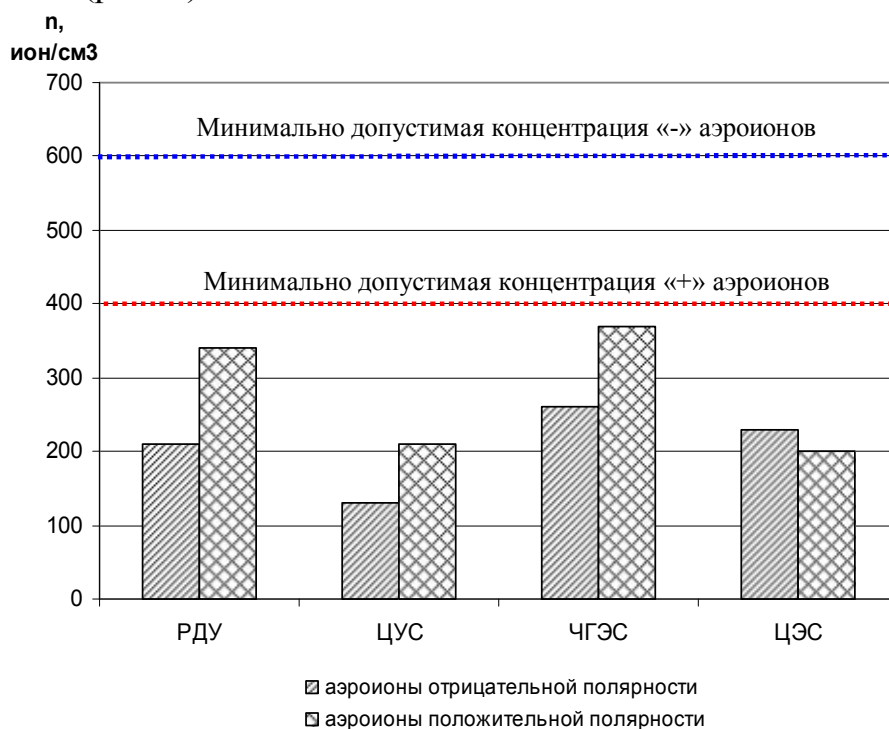


Рис. 1. Концентрация аэроионов в воздухе помещений

Концентрация аэроионов отрицательной полярности на рабочем месте диспетчерского персонала РДУ – 210 ион/см<sup>3</sup>, положительной полярности – 340 ион/см<sup>3</sup>; коэффициент униполярности (У) составил 1,6, что превышает допустимые значения ( $0,4 \leq U < 1,0$ ) и соответствует классу условий труда 3.1. Класс условий труда на рабочих местах других предприятий также оценивается как 3.1. При классе 3.1 – условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья.

Анализ результатов аттестации рабочих мест по условиям труда, проведенной кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета в подразделениях МЭС Западной Сибири, показывает, что большая часть рабочих мест также характеризуется вредными условиями труда по показателю «аэроионный состав». Аттестации было подвергнуто 153 рабочих места. Персональными электронно-вычислительными машинами оборудовано 147 рабочих мест (96 %). Информация о фактическом состоянии условий труда по показателю «аэроионный состав» для 147 рабочих мест представлена в табл. 1.

Согласно данным табл. 1 на 96-ти рабочих местах наблюдается низкая концентрация легких аэроионов (менее 100 ион/см<sup>3</sup>), часть рабочих мест (32%) характеризуется превышением максимально допустимых показателей ионов положительной полярности.

Таблица 1  
Состояние условий труда на рабочем месте по аэроионному составу

Показатели	Недостаток аэроионов	Избыток аэроионов	Соответствует требованиям СанПиН 2.2.4.1294
Количество рабочих мест / в % от общего количества	96 / 65,3	48 / 32,7	3 / 2
Класс условий труда	3.1	3.1	2

Неблагоприятные условия и режим труда диспетчеров, непрерывность производственного процесса, большая ответственность за нормальный режим работы энергосистемы, многообразие и интенсивность поступающей для переработки информации, необходимость принятия безошибочных решений оказывают негативное влияние на их самочувствие и здоровье. При проведении опроса среди диспетчерского персонала были установлены факты утомляемости, плохого самочувствия и другие, соотношение которых в процентах представлено в табл. 2.

Таблица 2

Данные анкетирования диспетчерского персонала по самочувствию

Наименование предприятия	Жалобы, %			
	Повышенная утомляемость	Неудовлетворительное общее самочувствие	Головные боли	Чувство несвежести воздуха, духоты
Челябинское РДУ	67	58,3	41,7	33
ОАО «Курганэнерго» Западные электрические сети»	62,5	62,5	37,5	25
ТЭЦ-2	50	67	33	17

Концентрация легких аэроионов в значительной степени зависит от загрязненности воздуха помещений взвешенными (пылевыми) частицами разной дисперсности, которые являются адсорбентами такого вида ионов. Легкие ионы, оседая на твердых частицах, теряют свою полезность и становятся тяжелыми. Соответственно, чем больше воздух загрязнен пылью, тем меньше в нем легких аэроионов. Для сохранения минимально необходимого количества легких аэроионов концентрация пылевых частиц не должна превышать  $0,15 \text{ мг/м}^3$ .

Одним из способов улучшения условий труда по показателю «аэроионный состав» является применение специальных технических устройств для корректировки аэроионной недостаточности – ионизаторов, ионизаторов-очистителей воздуха.

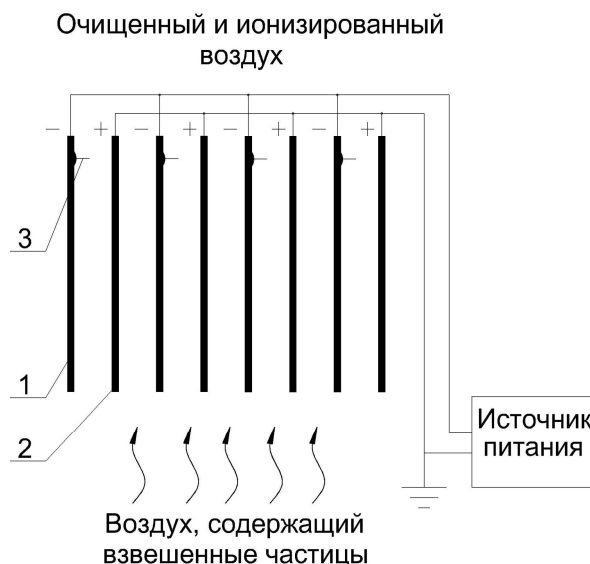
На сегодняшний день устройства для ионизации воздуха представлены на рынке целым рядом отечественных и зарубежных фирм. Принцип работы таких приборов основан на действии коронного разряда, который возникает при подаче высокого напряжения (15–25 кВ) на коронирующие электроды. Под действием высокого напряжения происходит разряд и начинается выделение в окружающее пространство электронов, которые взаимодействуют с молекулами кислорода и вызывают лёгкую ионизацию воздуха. При этом из-за высокого уровня ионизации вместе с молекулами кислорода заряжаются и мельчайшие частички пыли в помещении, которые осаждаются на положительно заряженных поверхностях (стенах, потолках). Кроме этого дополнительная электризация пылевых частиц способствует проникновению и задержке их в легких человека.

Все это подтверждает необходимость совершенствования способов и разработки новых технических устройств для очистки и ионизации воздуха применительно к рабочему месту.

**Во второй главе «Теоретическое исследование процесса очистки и ионизации воздуха»** был проведен анализ процесса осаждения взвешенных частиц и ионизации воздуха в ЭСФ-ионизаторе.



Предлагаемый в работе вариант устройства сочетает в себе функции очистителя и ионизатора воздуха, причем в нем ионизируется уже очищенный воздух. ЭСФ-ионизатор представляет собой систему плоских параллельно расположенных осадительных пластин, выполненных из диэлектрического материала; заземленные пластины чередуются с потенциальными (рис. 2).



- 1 – потенциальные осадительные пластины,
- 2 – заземленные осадительные пластины,
- 3 – ионизирующие иголки

Рис. 2. Электростатический фильтр-ионизатор

Напряжение на потенциальные пластины подается от источника питания. На выходе из устройства на потенциальных пластинах установлены иголки для ионизации воздуха.

Очистка воздуха в ЭСФ-ионизаторе происходит таким образом: частицы пыли, имея естественный биполярный электрический заряд, с воздушным потоком попадают в промежуток между осадительными пластинами устройства. В электрическом поле частицы под действием электрических сил в зависимости от знака заряда осаждаются на тех или других осадительных пластинах. Частицы пыли с положительным зарядом осаждаются на потенциальных пластинах, частицы пыли с отрицательным зарядом осаждаются на заземленных пластинах.

Основным показателем работы устройств по очистке воздуха является степень очистки –  $\eta$ . В общем случае степень очистки воздуха в электрофильтрах можно определить по формуле Дейча:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{v_c \cdot l}{u \cdot d}}, \quad (1)$$

где  $v_c$  – скорость дрейфа частиц к осадительным пластинам,  $l$  – активная длина электрофильтра,  $u$  – скорость воздушного потока, проходящего через фильтр;  $d$  – расстояние между осадительными пластинами.

При известных конструктивных ( $l$  и  $d$ ) и режимном ( $u$ ) параметрах, неизвестной величиной является скорость дрейфа частиц  $v_c$ , которая определяется действием различных сил электростатического поля фильтра: кулоновской силой –  $\overline{F_K}$ ; силой сопротивления среды –  $\overline{F_C}$ ; силой, обусловленной неравномерным распределением напряженности электрического поля (пандермоторной сила) –  $\overline{F_E}$ .

Эта скорость на основании проведенных ранее исследований для нашего случая определяется по формуле:

$$v_c = \frac{\left( E q_{\text{ест}} + 2\pi\epsilon_0 a^3 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \text{grad}E^2 \right) \cdot \left( 1 + A \frac{l_m}{a} \right)}{12\pi\mu a \left( 1 + \frac{b \cdot a}{x} \right)} \quad (2)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля в фильтре, В/м;  $q_{\text{ест}}$  – естественный заряд частицы, Кл;  $a$  – размер частицы, м;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость частицы;  $\text{grad}E$  – градиент напряженности электрического поля, В/м<sup>2</sup>;  $A$  – постоянная, зависящая от свойств поверхности;  $l_m$  – эквивалентная длина свободного пробега молекул, м;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости воздушной среды, Н·с/м<sup>2</sup>;  $b$  – коэффициент, зависящий от формы и расположения осадительных пластин;  $x$  – расстояние до осадительной пластины, м.

Подставив выражение (2) в формулу Дейча (1), определим степень очистки воздуха в зависимости от скорости воздушного потока, проходящего через устройство. Расчет степени очистки был проведен при следующих исходных данных: напряжение питания  $U=10$  кВ, межэлектродное расстояние  $d = 0,005$  м (5 мм), длина электрофильтра  $l=0,1$  м, градиент напряженности электрического поля  $\text{grad}E = 1,08 \cdot 10^9$  В/м<sup>2</sup>, естественный заряд частицы  $q_{\text{ест}} = 12,5 \cdot 10^{-19}$  Кл.

На рис. 3 представлена теоретическая зависимость степени очистки ЭСФ от скорости воздушного потока  $\eta=f(u)$  для частиц размером 0,5 мкм.

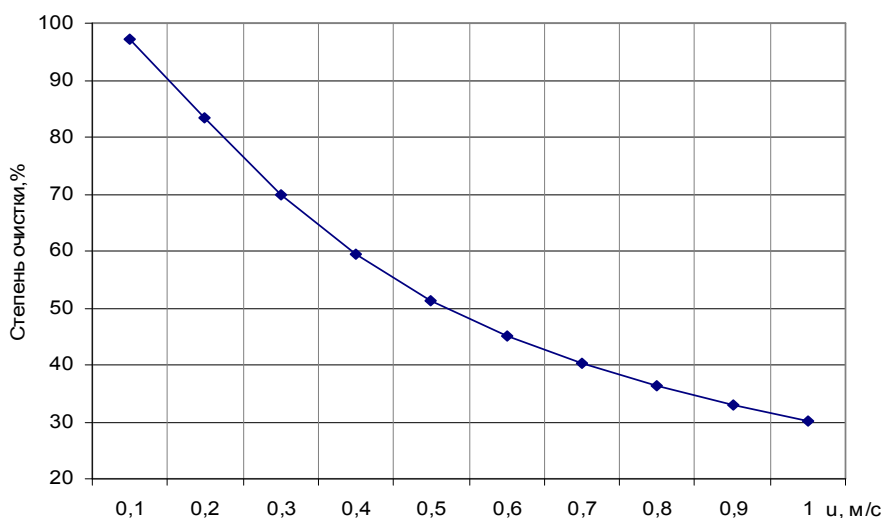


Рис. 3. Расчетная зависимость степени очистки от скорости воздушного потока через фильтр

Данная зависимость показывает, что с увеличением скорости воздушного потока степень очистки воздуха в устройстве снижается. Достаточно высокая степень очистки воздуха при небольших скоростях воздушного потока позволила предположить, что ЭСФ-ионизатор будет эффективно работать на естественных воздушных потоках помещений, например, конвективных (тепловых).

В качестве примера был рассмотрен конвективный поток, возникающий над источником света (рис. 4).

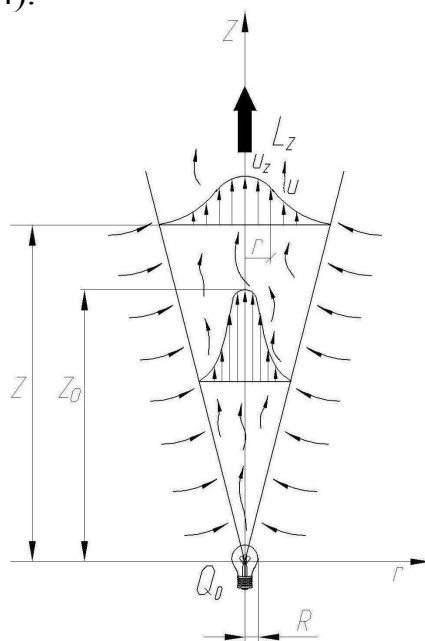


Рис. 4. Конвективный поток, возникающий над источником света

За основу расчета скорости конвективного потока была взята формула Шепелева И.А. для источника круглой формы, которая используется для построения эпюр скоростей воздушных потоков:

$$u_z^3 = \frac{(1 + \sigma) \cdot g \cdot Q_0 \cdot z}{2\sigma\pi \cdot C \cdot \rho \cdot T \cdot R^2} \cdot \left[ 1 - e^{-\frac{3}{2} \left( \frac{R}{\gamma \cdot z} \right)^2} \right] \quad (3)$$

где  $u_z$  – скорость нагретого воздуха на оси конвективного потока, м/с;  $\gamma$  и  $\sigma$  – экспериментальные константы,  $\gamma=0,082$ ,  $\sigma=0,8$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81\text{м/с}^2$ ;  $z$  – высота над источником конвективного потока, м;  $C$  – теплоемкость воздуха,  $C=1$  кДж/(кг·°К);  $\rho$  – плотность воздуха,  $\rho=1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура окружающего воздуха, °К,  $R$  – размер теплового источника, м;  $Q_0$  – теплопроизводительность источника конвективного потока, кВт. Теплопроизводительность источника конвективного потока  $Q_0$  зависит от его мощности  $P$  и коэффициента  $b$ , показывающего, какая часть электроэнергии переходит в тепло, нагревающее воздух в помещении, ( $b=0,92-0,97$ ).

При преобразовании формулы (3) с учетом вычисления безразмерных постоянных величин, характеризующих окружающую среду была получена формула скорости на оси конвективного потока (осевая скорость),  $u_z$ , м/с:

$$u_z = 0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{g \cdot b \cdot P \cdot z}{10^3 \cdot C \cdot \rho \cdot T \cdot R^2} \cdot \left[ 1 - e^{-\left(\frac{14,9 \cdot R}{z}\right)^2} \right]} \quad (4)$$

Зависимость скорости конвективного потока от мощности источника света, рассчитанная по формуле (4) представлена в табл. 3.

Таблица 3

Скорость конвективного потока от источников света различной мощности

Мощность, P, Вт	60	100	150
Скорость, $u_z$ , м/с	0,24	0,28	0,3

Из табл. 3 видно, что конвективные потоки, возникающие над источниками света различной мощности, имеют невысокие скорости в пределах 0,24–0,3 м/с и это позволяет использовать их в работе ЭСФ-ионизаторов.

С учетом этих данных, была рассчитана степень очистки воздуха ЭСФ-ионизатором при установке его на пути движения конвективного потока. Расчет проведен по формуле (1) для постоянных конструктивных параметров: длина осадительных пластин  $l=0,1$  м; межэлектродное расстояние  $d=0,005$  м (5 мм). Скорость дрейфа частиц определялась по формуле (2) для двух размеров частиц: 0,5 мкм и 1,0 мкм. Величина естественного заряда принималась равной 5 % от величины искусственного, который может приобрести частица в поле коронного разряда при напряженности равной  $3 \cdot 10^5$  В/м.

На рис. 5 показана степень очистки воздуха ЭСФ-ионизатором при использовании конвективных потоков от источников света различной мощности.

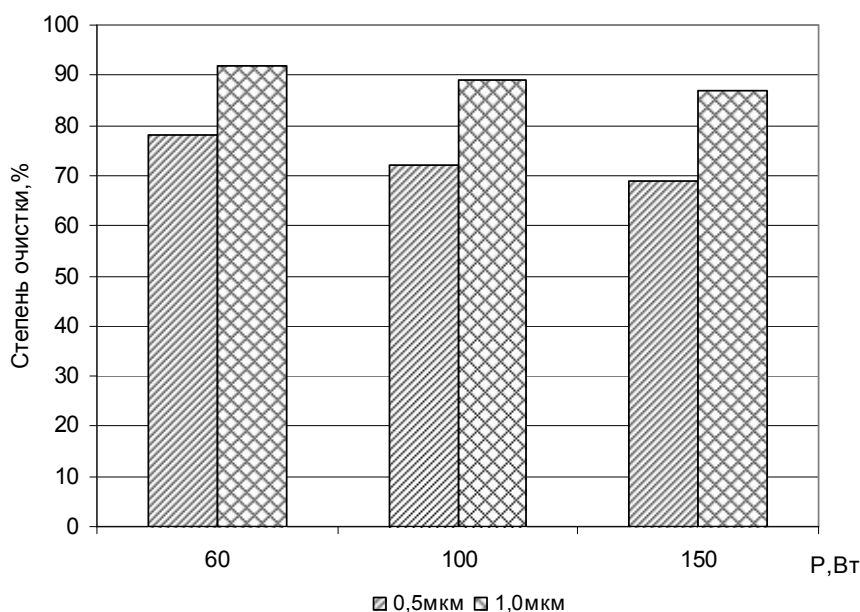


Рис. 5. Расчетная степень очистки воздуха ЭСФ при использовании источников света различной мощности

Анализ полученных данных показывает, что совместная работа ЭСФ-ионизатора и приборов, генерирующих конвективные потоки, позволит обеспечить достаточно эффективную очистку воздуха (от 70 до 90 %).

В третьей главе «Методики экспериментальных исследований» изложены методика и программа проведения экспериментов, приборы и оборудование, применяющиеся при экспериментальных исследованиях.

Рассмотрены существующие методы и приборы для измерения концентрации взвешенных частиц и аэроионов в воздухе.

Произведен анализ существующих приборов для измерения ионного состава в воздухе, в числе которых находится и использованный в экспериментах счетчик ионов «Сапфир-3к».

Программой экспериментов предусматривалось:

– исследование скорости воздушных потоков, создаваемых электроприборами;

– исследование зависимости степени очистки воздуха ЭСФ-ионизатором от конструктивных и режимных параметров устройства:

- расстояния между пластинами  $d$ ,
- напряжения питания  $U$ ;

– исследование зависимости количества генерируемых ионов от напряжения питания;

– исследование зоны распространения генерируемых ионов от прибора;

– исследование концентрации озона.

Для проведения исследований была собрана экспериментальная установка (рис. 6).



Рис. 6. Экспериментальная установка

Измерения проводились для рабочего места, оборудованного ПЭВМ с ЖК-монитором (3). В качестве источника конвективных потоков использовалась настольная лампа с источником света 60 Вт (2). Были выполнены две ячейки ЭСФ-ионизатора с расстоянием между пластинами 5 мм и 10 мм. Полярность подключения напряжения к пластинам чередуется: на одну подается «плюс», а на другую «минус». Оба потенциала, один из которых заземлен, подаются от

источника высокого напряжения. Заземленная пластина используется в качестве элемента крепления конструкции фильтра в настольной лампе. ЭСФ-ионизатор размещается в верхней части светильника над лампой. Воздух циркулирует между пластинами за счет конвекции. Источник высокого напряжения для питания электростатического фильтра смонтирован внутри основания настольной лампы, что исключает доступ к электрическим цепям схемы, делая устройство безопасным и сохраняя эстетический внешний вид изделия в целом. Напряжение, подаваемое на пластины устройства, измерялось с помощью киловольтметра типа С 100(5) класса точности 1,5. Скорость воздушного потока – термоанемометром testo 425. Испытания электростатического фильтра-ионизатора проводились на естественном аэрозоле воздушной среды помещения. Счетная концентрация аэрозоля на входе и выходе из ЭСФ измерялась с помощью счетчика аэрозолей ПК.ГТА-0,3-002 (3). Концентрация аэроионов измерялась счетчиком Сапфир-3К (4) на выходе из ЭСФ-ионизатора и в зоне дыхания пользователя ПЭВМ.

**В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований»** представлены результаты экспериментальных исследований.

Для определения возможности использования конвективных потоков для работы ЭСФ-ионизатора были исследованы различные электроприборы. Скорости их конвективных потоков представлены в табл. 4.

Таблица 4

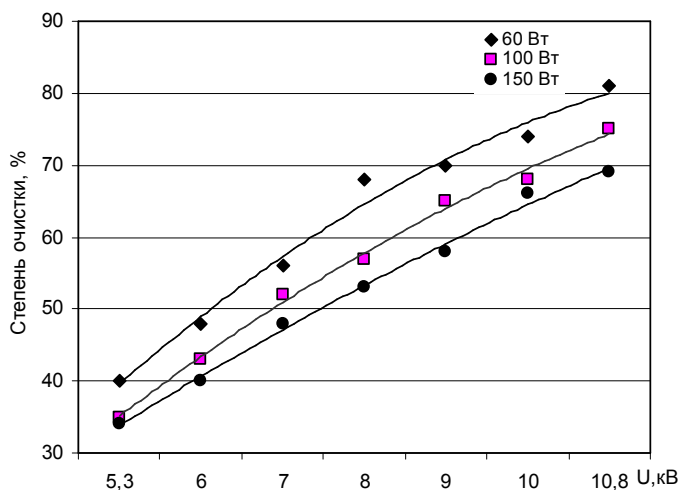
Значения скоростей конвективных потоков от различных источников

№ п/п	Источник конвективного потока	Скорость конвективного потока, м/с
1	Источник света (60 Вт, 100Вт, 150 Вт)	0,15–0,28
2	Радиатор отопления	0,2–0,35
3	Электронагревательный прибор	0,2–0,6
4	ЖК-монитор	0,1

Небольшие скорости конвективных потоков позволяют использовать их в качестве побудителя воздушного потока через ЭСФ-ионизатор.

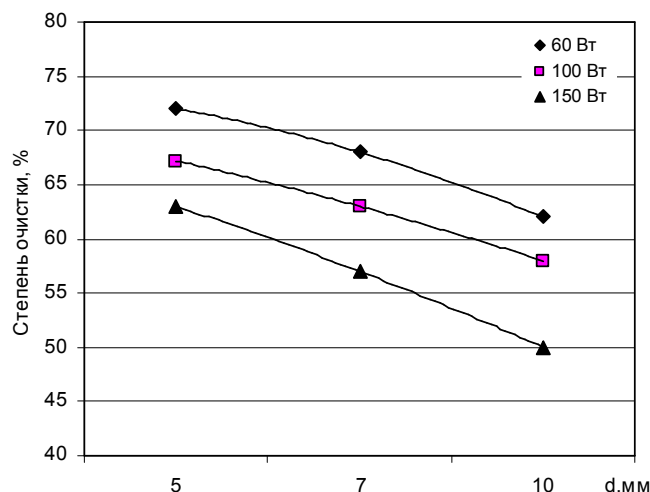
Исследование зависимости степени очистки ЭСФ-ионизатора от основных режимных и конструктивных параметров проводились на модели, параметры которой были определены исходя из результатов теоретических исследований. Анализ полученных результатов показывает, что степень очистки воздуха в устройстве зависит от напряжения питания, с увеличением напряжения питания степень очистки увеличивается с 40 до 80% для источника конвективного потока мощностью 60 Вт при изменении напряжения от 5,3 до 10,8 кВ (рис. 7).

На рис. 8 представлена зависимость степени очистки от расстояния между пластинами. С увеличением расстояния между пластинами ЭСФ-ионизатора степень очистки падает.



$a=0,5$  мкм,  $d=5$  мм

Рис. 7. Зависимость степени очистки от напряжения питания для источников конвективных потоков различной мощности



$a=0,5$  мкм,  $U=10$  кВ

Рис. 8. Зависимость степени очистки от расстояния между осадительными пластинами

Напряжение на пластины устройства подавалось от разработанного источника высокого напряжения. Исследование выходных параметров ИВН показывает, что разработанный ИВН обеспечивает стабильное постоянное напряжение, подаваемое на пластины ЭСФ-ионизатора. Это позволяет получить качественную очистку и ионизацию воздуха.

Исследование зависимости количества генерируемых ионов от напряжения питания показывает, что с увеличением напряжения, подаваемого на пластины, количество вырабатываемых ионов возрастает (рис. 9).

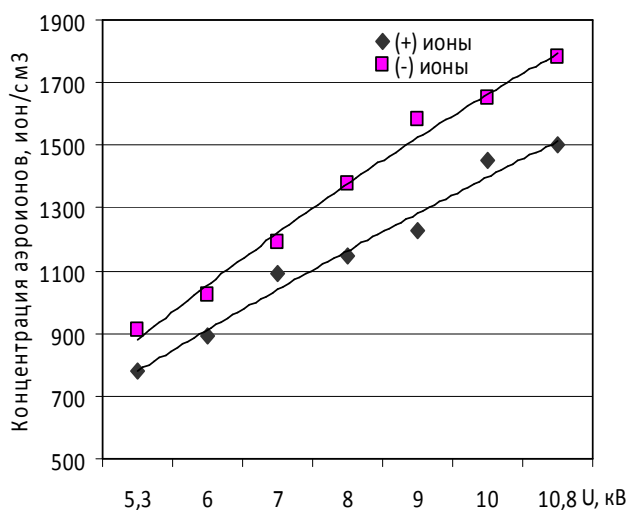


Рис. 9. Зависимость количества генерируемых ионов от напряжения питания

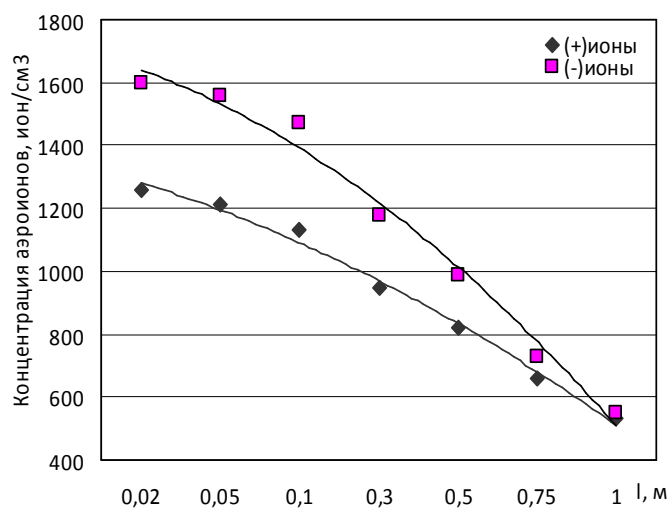


Рис. 10. Распространение генерируемых ионов от ЭСФ-ионизатора (при  $U=9$  кВ)

Замеры аэроионов проводились на выходе из ЭСФ-ионизатора. Из графика видно, что при напряжении питания 5,3 кВ устройство генерирует 910 отрицательных и 780 положительных ионов, что соответствует требованиям санитарно-гигиенических норм. Это позволяет использовать в устройстве напряжение до 10 кВ.

Исследование распространения генерируемых ионов от прибора показывает, что с удалением от устройства, концентрация легких ионов снижается (рис. 10). При расположении ЭСФ-ионизатора на рабочем месте количество генерируемых ионов в зоне дыхания человека (в радиусе 0,3 м от него) составит соответственно 950 положительных и 1180 отрицательных.

Устройства для очистки и ионизации воздуха не должны изменять газового состава воздуха, т.е. не выделять озона. Измерение озона проводилось хемилюминесцентным газоанализатором озона «3.02 П-А» в непосредственной близости от ЭСФ-ионизатора и на расстоянии 0,02 м от него. Концентрация озона составила 0 мг/м<sup>3</sup>. Измерения, проведенные через два часа после начала работы устройства, показали, что озон в воздухе не обнаруживался.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что разработанный ЭСФ-ионизатор, обеспечивает очистку воздуха от взвешенных (пылевых) частиц и генерирует аэроионы в соответствии с санитарными требованиями.

ЭСФ-ионизатор был испытан в производственных условиях на рабочем месте диспетчера ОАО «Курганэнерго» Западные электрические сети». Диспетчерская оснащена мнемощитом, средствами связи, ПЭВМ, оргтехникой. Рабочие места старшего диспетчера и дежурного диспетчера оборудованы двумя ПЭВМ с 2-мя ЖК-мониторами на каждое рабочее место. ПЭВМ включены постоянно.

Источником конвективного потока в рабочей зоне являются системные блоки компьютеров, мониторы, светильники для местного освещения. В эксперименте использовалась настольная лампа с источником света мощностью 60 Вт. Средняя скорость конвективного воздушного потока составляла 0,15 м/с. Настольная лампа была включена все рабочее время и была отключена лишь в обеденный перерыв (с 13.00 до 14.00).

Испытания показали, что через три часа непрерывной работы устройства концентрация взвешенных (пылевых) частиц в воздухе снизилась в 1,5 раза и при дальнейшей работе поддерживалась на данном уровне (рис. 11).

ЭСФ-ионизатор обеспечивает снижение концентрации взвешенных (пылевых) частиц до показателей, при которых рекомендуется проводить ионизацию воздуха.

Концентрация генерируемых ионов в зоне дыхания диспетчера составила: легких положительных аэроионов – 680–760 ион/см<sup>3</sup>, а отрицательных аэроионов 770–890 ион/см<sup>3</sup> (рис. 12). Концентрации генерируемых ионов были стабильны в течение всего времени работы устройства и не превышали ПДК. Накопления статических зарядов на окружающих предметах и поверхностях не наблюдалось.



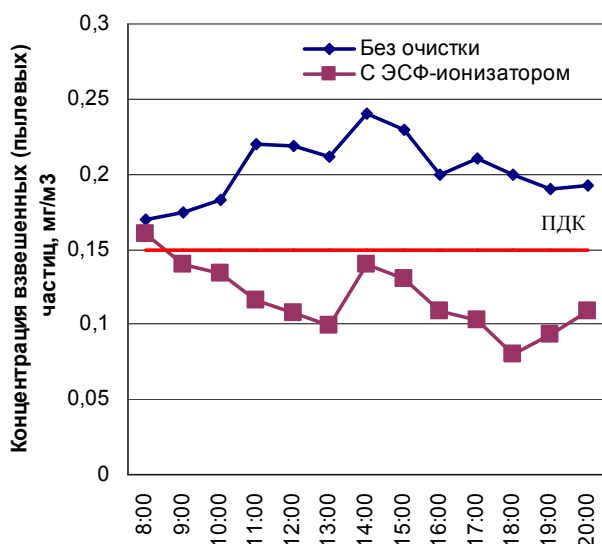


Рис. 11. Изменение концентрации взвешенных (пылевых) частиц в воздухе при установке ЭСФ-ионизатора

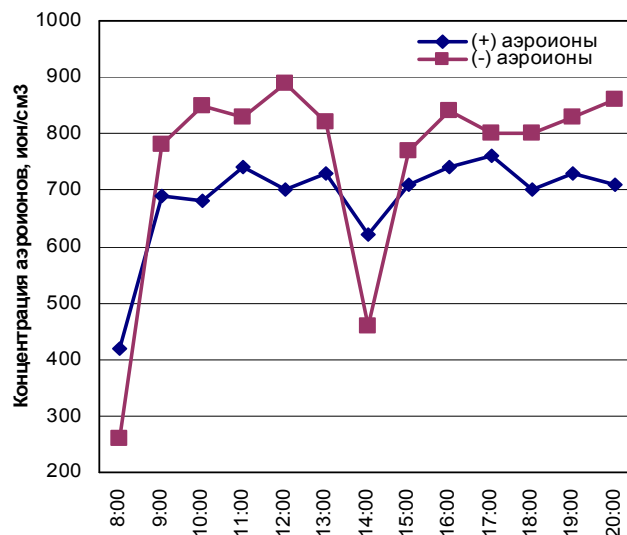


Рис. 12. Изменение концентрации аэроионов в воздухе при установке ЭСФ-ионизатора

По данным анкетирования диспетчерского персонала, проведенном через два месяца после начала работы ЭСФ-ионизатора, многие сотрудники отметили улучшение самочувствия, снижение утомляемости, отсутствие сонливости (табл. 5).

Таблица 5

Результаты повторного анкетного опроса диспетчерского персонала  
ОАО «Курганэнерго» Западные электрические сети»

Показатели	Результаты опроса, %
Снижение утомляемости	62,5
Отсутствие сонливости	75
Повышение внимания	37
Улучшение самочувствия	50
Комфортность обстановки	100

За период работы в условиях искусственной ионизации отрицательных изменений в состоянии здоровья, а также негативных отзывов, связанных с работой прибора отмечено не было. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование таких фильтров-ионизаторов обеспечивает улучшение условий труда персонала на ответственных объектах электроэнергетики и способствует их надежной и безаварийной работе.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать основные выводы по работе:

1. Состояние воздушной среды на рабочих местах диспетчерского персонала объектов энергетики, оборудованных ПЭВМ и другой оргтехникой на 98 % не соответствует санитарно-гигиеническим нормам по аэроионному составу. Условия труда на них характеризуются как вредные.
2. Для улучшения условий труда на исследуемых объектах рекомендуется использовать ЭСФ-ионизатор, генерация аэроионов в котором происходит за счет ионизирующих иголок, расположенных на диэлектрических осадительных пластинах на выходе фильтра, при этом ионизируется уже очищенный от пылевых частиц воздух. Разработанный источник высокого напряжения обеспечивает стабильную и надежную работу фильтра.
3. Для побуждения очищаемого воздуха через ЭСФ-ионизатор целесообразно использовать конвективные потоки от различных маломощных электроприборов, т.к с увеличением мощности источника конвективного потока степень очистки воздуха снижается. При использовании источников света  $P=60$  Вт максимальная степень очистки (80 %) наблюдается при скорости воздушного потока через фильтр 0,15–0,25 м/с.
4. По результатам производственных испытаний разработанного ЭСФ-ионизатора в диспетчерских энергосистемах установлено, что степень очистки воздуха составила не менее 70%, концентрация отрицательных аэроионов – 850 ион/см<sup>3</sup>, положительных – 700 ион/см<sup>3</sup>, что соответствует санитарно-гигиеническим требованиям к воздушной среде данных помещений.
5. При анкетировании диспетчерского персонала по основным показателям (снижение утомляемости, улучшение самочувствия и др.) при использовании ЭСФ-ионизатора большинство опрошенных указали на положительную тенденцию в улучшении условий труда и целесообразность использования таких устройств на рабочих местах диспетчерского персонала энергосистем.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

**Научные публикации по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК:**

1. Плеханова, Ю.М. Использование диэлектрических материалов в конструкциях электростатических фильтров [Текст] / И.М. Кирпичникова, И.В. Кирпичников, Ю.М. Плеханова // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2006. – № 3–4. – С. 74–78.

2. Плеханова, Ю.М. Очистка воздуха помещений в районах с неблагоприятной экологической обстановкой [Текст] / И.М. Кирпичникова, Ю.М. Плеханова // Вестник международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 2008. – Т.13. №3. Приложение – С. 220–224.

### **Другие научные публикации по теме диссертации:**

3. Плеханова, Ю.М. Энергосбережение в квартирах [Текст] / Ю.М. Плеханова // УрФО: Строительство. ЖКХ. – 2007. – №12 (30). – С. 50–51.

4. Плеханова, Ю.М. Анализ показателей аэроионного состава воздуха на рабочих местах МЭС Западной Сибири [Текст] / Ю.М. Плеханова // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2009. – № 4. – С. 30–34.

5. Плеханова, Ю.М. Использование конвективных потоков в работе электрофильтров для очистки воздуха помещений [Текст] / И.М. Кирпичникова, Ю.М. Плеханова // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» – 2009. – Т. 1. – С.130–135.

6. Плеханова, Ю.М. Улучшение воздушной среды помещений промышленных городов за счет снижения концентрации пылевых частиц и нормализации аэроионного состава [Текст] / Ю.М. Плеханова // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Экологическая безопасность и современные технологии». – Миасс – 2009. – С. 389 – 393.

7. Плеханова, Ю.М. Обеспечение аэроионного состава воздуха диспетчерских энергосистем [Текст] / Ю.М. Плеханова // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». – 2010. – № 4. – С. 12–18.

8. Плеханова, Ю.М. Электростатический фильтр-поглотитель запахов [Текст] / Ю.М. Плеханова, И.М. Кирпичникова, Е.О. Гамов, Д. Н. Баталов // Информационный листок, ЦНТИ. – 2005. – №83–111–05.

9. Плеханова, Ю.М. Использование конвективных потоков в системах очистки воздуха помещений [Текст] / Ю.М. Плеханова, И.М. Кирпичникова, Е.О. Гамов // Информационный листок, ЦНТИ. – 2005. – №83–120–05.

10. Электростатический фильтр: патент на полезную модель № 68365, Россия / Кирпичникова И.М., Плеханова Ю.М., Мельников А.В., Гамов Е.О. опубл. 27.11.2007. Бюл. №33.

11. Источник высокого напряжения для аппаратов электронно-ионной технологии Патент на полезную модель № 68364, Россия / Кирпичникова И.М., Плеханова Ю.М., Мельников А.В., Гамов Е.О. опубл. 27.11.2007. Бюл. № 33.