

DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107

УДК 697.97+614.844:614.838

Тип статьи: Оригинальная статья



Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Часть 1

В.В.Белозеров^{1*} , Вл.В.Белозеров¹ , Т.Б. Долаков² , М.А. Никулин³ , С.И. Олейников² 

¹ ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

² ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», г. Москва, Россия

³ ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Россия

*Контакты: e-mail: safeting@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. В настоящее время и за рубежом, и в России наблюдается «повальная цифровизация» не только определенных видов деятельности, но и объектов техносферы, например, «умных домов», «безопасных городов» и т.д. Однако «создатели» указанных объектов нарушили главный принцип автоматизации академика В.М. Глушкова, который гласит: нельзя автоматизировать беспорядок. Именно поэтому в настоящей статье предпринята попытка «устранения беспорядка» в автоматизации инженерных систем жилого сектора.

Методы, модели и средства. На основе анализа инженерных систем многоквартирных жилых зданий и индивидуальных жилых домов, в результате функционирования которых осуществляется не только доставка «благ жизнеобеспечения», но и возникает пожарно-энергетический и экологический вред, разработана методология «интеллектуализации» средств учета поставляемых ресурсов на предмет диагностики и подавления пожарно-энергетического вреда с помощью современных нанотехнологий и предотвращения таким образом пожаров и взрывов в жилом секторе.

Результаты и обсуждение. Методология «интеллектуализации» построена на результатах системного анализа «функционирования жилого сектора» (многоквартирных зданий и индивидуальных жилых домов), который позволил «обнаружить» диалектическое единство благ и вреда от потребляемых энергоресурсов (электроэнергии, бытового газа, горячей и холодной воды), а также осуществить системный синтез нанотехнологий и средств «выделения и подавления» - пожарно-энергетического вреда. Новизна исследования защищена патентами РФ.

Заключение. Предлагаемый подход позволяет «устранить беспорядок перед автоматизацией» инженерных систем многоквартирных жилых зданий и индивидуальных жилых домов путем «интеллектуализации» приборов учета и оптимизации нанотехнологий подавления пожарно-энергетического вреда, приносящего социально-экономические потери.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматизация, инженерные системы зданий, пожарно-энергетический вред, диагностика пожаров-зрывоопасности, электросчетчик-извещатель, компенсатор реактивной мощности, мембранный сепаратор воздуха, термоманнитный сепаратор воздуха.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.И. Нанотехнологии «интеллектуализации» учета энергоресурсов и подавления пожарно-энергетического вреда в инженерных системах жилых зданий. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Том 13, № 2. – С. 95–107. – DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-2-95-107.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно статистическим данным ВНИИ противопожарной обороны МЧС России, ежегодно около 70% пожаров происходит в жилом секторе страны [1]:

- в 1–2 этажных зданиях – до 125 тыс. пожаров и до 10 тыс. погибших,

- в 3–5 этажных зданиях – около 20 тыс. пожаров и около 2 тыс. погибших,
- в 6–9 этажных зданиях – около 16 тыс. пожаров и до 1 тыс. погибших,
- в 10–25 этажных зданиях – около 10 тыс. пожаров и около 500 погибших,
- в зданиях более 25 этажей – около 30 пожаров и до 10 погибших.

© Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Долаков Т.Б., Никулин М.А., Олейников С.И., 2021



Рис. 1. Мультидатчик

Если ввести понятие «вероятности гибели от этажности здания», т.е. отношения числа погибших к этажности, то в высотных зданиях она в 4,16 раза выше, чем 1–2 этажных. И это несмотря на то, что в зданиях выше 10 этажей предусмотрены капитальные противопожарные меры (незадымляемые лестничные клетки и т.д.) [2].

Во многих странах мира (США, Германия, Польша, Россия и др.) в последние десятилетия получили распространение автономные пожарные извещатели (АПИ), устанавливаемые в защищаемых помещениях, которые выдают при обнаружении признаков пожара прерывистый сигнал тревоги с уровнем звукового давления 85–90 дБ на расстоянии 1 м от извещателя.

Статистика свидетельствует, что применение АПИ позволяет снизить число погибших на пожарах в жилом секторе в ночное время на 45% [3].

Известны многие способы и устройства обнаружения загораний, реализующие эти способы [4]:

- Дымовые пожарные извещатели – ионизационные и оптические;
- Тепловые пожарные извещатели – пороговые и аналоговые;
- Пламенные пожарные извещатели – оптические и на основе использования ультрафиолетового или инфракрасного излучения;
- Газовые пожарные извещатели – на продукты горения, включая селективные линейные.

Наиболее эффективными из них являются извещатели, сочетающие в себе фотоэлектрические, тепловые и газовые чувствительные элементы. Подобные типы мультидатчиков (рис. 1) применяются уже длительное время, используя очень простые («или-или») и комбинированные («и-и-или-и») способы принятия решения в случае срабатывания чувствительных элементов [5–8].

Дело в том, что за рубежом используются разные модели температурного режима развития пожара. Так, например, первый американский стандарт (сейчас E119) был опубликован в 1918 году, и его стандартная кривая почти идентична кривой британского стандарта (BS), опубликованного в 1932 году (рис. 2а), которая описывается формулой [9]:

$$T = T_0 + 345 \log(0,133t + 1), \quad (1)$$

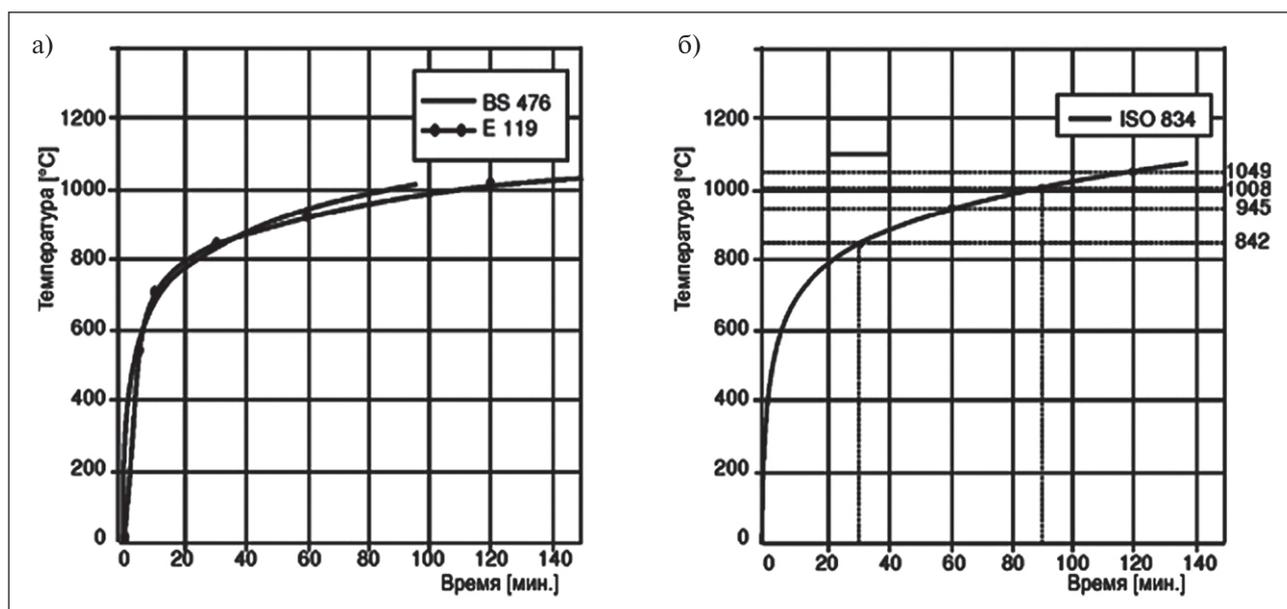


Рис. 2. Температурные кривые стандартов США и Великобритании (а) и Европы (б)

где T – температура в помещении, °С; T_0 – температура в помещении на момент загорания, С; t – время, сек.

Стандартная температурно-временная кривая пожара в помещении ISO 834 (рис. 2б) описывается системой [9]:

$$T = \begin{cases} T_0 + 504t^{0.141} & \text{при } t < 10 \text{ минут} \\ T_0 + 345\log(8t + 1) & \text{при } t > 10 \text{ минут.} \end{cases}$$

В нашей стране общепринятое моделирование температурного режима развития пожара осуществляется по уравнению [10]:

$$T = 345\lg(8t + 1) + T_0, \quad (2)$$

где T – температура, °С; t – время, мин., T_0 – температура в помещении на момент загорания, °С.

Как следует из графика уравнения (2), производная от него (рис. 3) не имеет ни максимумов, ни минимумов, т.к. является гиперболической функцией, асимптотически приближающейся к оси « t ». Это не позволяет с помощью теплового сенсора однозначно выделить начальную стадию пожара, что приводит к многочисленным ложным срабатываниям тепловых пожарных извещателей [3, 4].

Нормированные значения (табл. 1) опасных факторов пожара (ОФП) и графики функций их основных компонент (рис. 4–6), полученные с помощью программы INTMODEL (численного решения системы дифференциальных уравнений методом Рунге–Кутты–Фельберга 4–5 порядка точности с переменным шагом) позволяют сделать следующее предположение: если дополнить тот же мультидатчик (рис. 1) кислородным сенсором, то можно идентифицировать возникновение пожара на начальной

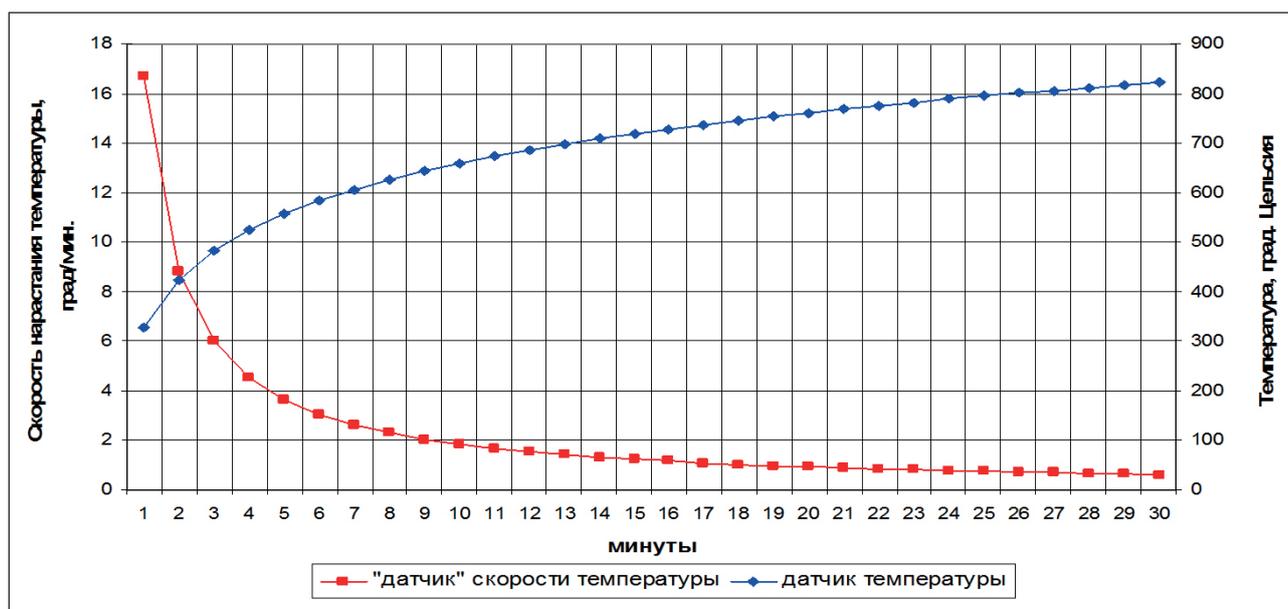


Рис. 3. Графики «стандартного пожара»

Table 1

№, п/п	Опасный фактор пожара	Предельное значение
1	Оксид углерода (угарный газ) – CO	1,16 г/м ³ (0,1% объема)
2	Двуокись углерода (углекислый газ) – CO ₂	0,00011 г/м ³
3	Хлористый водород	0,000023 г/м ³
4	Температура	70°С
5	Интенсивность теплового излучения	1,4 кВт/м ²
6	Концентрация кислорода	15%
7	Предельная видимость в дыму	20 м

значений [16], которые запоминались и по истечении требуемого времени (сутки, неделя, месяц) определялись по формуле:

$$W = W_d + W_{нд}, \quad (3)$$

где W – общее количество электроэнергии, отпущенной потребителю за время T ; W_d – количество израсходованной электроэнергии при допустимых отклонениях; $W_{нд}$ – количество израсходованной электроэнергии при недопустимых отклонениях.

В настоящее время выпускается ряд приборов, регистрирующих качество получаемой и используемой электроэнергии, например, отечественный прибор LPW-305 или стационарный анализатор количества и качества электрической энергии Circutor серии SVM, которые обеспечивают измерения, обусловленные стандартами показателей качества электроэнергии (ПКЭ), необходимые для вычисления и визуализации доли качественной электроэнергии [16, 17]:

- размах изменения напряжения,
- установившееся отклонение напряжения,
- доза фликера,
- коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения,
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения,
- коэффициент не симметрии напряжений по нулевой последовательности,
- коэффициент не симметрии по обратной последовательности,
- длительность провала напряжения,
- отклонение частоты,
- коэффициент временного перенапряжения,
- импульсное напряжение.

Казалось бы, введение «интеллекта» в электросчетчик должно привести к тому, что потребители станут платить только за качественную электроэнергию, а «умные дома» [18] и внедряемые автоматизированные системы учета электроэнергии (АСКУЭ) станут основой системы качества и энергосбережения, защищающей население России от «брака в производстве и поставке» электроэнергии [19], включая изменение тарифа оплаты и штраф за поставку «некондиционного энергоресурса» [20]. Однако этого не произошло, т.к. был нарушен главный принцип автоматизации, сформулированный еще в прошлом веке академиком В.М. Глушковым в виде «запрета автоматизации беспорядка» [21].

Более того, несмотря на установленные (также в прошлом веке) закономерности возникновения пожаров от электроприборов при нарушении ПКЭ

[14], а также обоснование (уже в этом веке) диалектического единства «электрических благ и пожарно-электрического вреда», ни АСКУЭ, ни «умный дом» не решают задач пожарной безопасности объектов и его потребителей, т.к. не регистрируют «некачественность» электроэнергии, и изменение по этой причине вероятности пожара от электроприборов, т.е. пожарно-электрического вреда (ПЭВ), определяемого по формуле [22]:

$$\text{ПЭВ} = P_{\text{Э}} \cdot W = P_d \cdot W_d + P_{нд} \cdot W_{нд}, \quad (4)$$

где W – общее количество электроэнергии, отпущенной потребителю за время t ; W_d – количество израсходованной электроэнергии при допустимых отклонениях; $W_{нд}$ – количество израсходованной электроэнергии при недопустимых отклонениях; $P_{\text{Э}}$ – среднестатистическая вероятность пожара от электроприборов; P_d – вероятность пожара электроприбора при допустимых отклонениях; $P_{нд}$ – вероятность пожара электроприбора при недопустимых отклонениях.

Системный анализ такого подхода показал, что указанные в формуле (4) вероятности должны обновляться энергонадзором ежегодно, с использованием данных МЧС России по статистике пожаров на объектах по электротехническим причинам. Такое взаимодействие обусловлено, во-первых, тем, что вероятности отказов электроприборов имеют нелинейный характер, зависящий от условий эксплуатации электрорадиоэлементов (ЭРЭ) в них, интенсивности отказов которых описываются уравнением Аррениуса–Эйринга [23]:

$$\lambda = A(P, V, N, F) \frac{kT}{h} \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \cdot \exp[f(H)], \quad (5)$$

где λ – текущая интенсивность отказа элемента, 1/час; $A = k_1 \cdot \lambda_0$ – произведение безразмерных коэффициентов, зависящих от давления, влажности, вибраций и т.д. на интенсивность отказов при хранении (λ_0), 1/час; k – постоянная Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – температура элемента, °К; h – постоянная Планка, $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; E_a – эффективная энергия активации отказа, Дж; $f(H)$ – функция нетермической (энергетической) нагрузки.

Во-вторых, взаимодействие обусловлено тем, что пожароопасные отказы (короткое замыкание, обрыв, электропробой) скрыты, как минимум, на порядок «глубже» параметрических отказов, описываемых уравнением (5), что требует специальных методов их определения [23, 24]:

$$\left\{ \begin{aligned} Ze &= \sqrt{2\lambda_b \frac{RT_{II}^2}{E_a} \cdot H \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{II}}\right)}; \\ Se &= \frac{Q \cdot V}{S \cdot \alpha} \cdot \frac{E_a}{RT_{по}^2} \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{по}}\right); \\ F_k &= \frac{Q \cdot r^2}{\lambda_o} \cdot \frac{E_a}{RT_o^2} \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_o}\right); \end{aligned} \right. \quad (6)$$

где Ze – критерий Зельдовича (критическая плотность теплового потока); λ – коэффициент теплопроводности газовой фазы; R – газовая постоянная; T_{II} – температура печи; E_a – энергия активации пиролиза образца; H – тепловой эффект реакции в газовой фазе; K – предэкспонент; Se – критерий Семенова ($Se = 0,368$); Q – теплота, подведенная к образцу; V – текущий объем образца; S – текущая площадь поверхности образца; α – текущий коэффициент теплоотдачи образца; $T_{по}$ – температура поверхности образца; F_k – критерий Франк-Каменецкого ($F_k = 2,00$); r – линейный размер образца; λ_o – коэффициент теплопроводности образца; T_o – температура образца.

В-третьих, и это-главное, воспламенение ЭРЭ и загорание электроприбора при пожароопасном отказе описывается системой нелинейных уравнений Семенова, Зельдовича и Франк-Каменецкого (6), в которые входят не латентные показатели пожарной опасности веществ и материалов (группы горючести, степени огнестойкости и т.д.), из которых сделаны ЭРЭ, а их физико-химические характеристики [25], включая защитные покрытия [26], которые можно определить БЭТА-анализатором [22, 27, 28]

Поэтому определение указанных в формуле (5) вероятностей возможно только при использовании баз данных статистики пожаров МЧС России

в каждом конкретном регионе, а также их обработки методом анализа временных рядов [29], и реализовать такой подход в жилом секторе можно только с помощью «интеллектуализации» электросчетчиков [30] при взаимодействии энергонадзора и госпожнадзора [31].

МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВРЕДА

Принимая во внимание вышеизложенное, очевидным решением, т.е. «устранением беспорядка в энергоснабжении», явилась разработка метода определения пожарно-электрического вреда и опасных факторов пожара с помощью электросчетчика-извещателя (ЭСИ), защищенного патентами РФ [22, 30], путем комплексирования теплового, дымового и газового (оксида углерода) датчиков в камеру ЭСИ, которая соединялась с аспирационной системой, что позволило обеспечить раннее обнаружение пожара в квартире или индивидуальном жилом доме, где ЭСИ установлен (рис. 8), а также включить звуковое оповещение о пожаре и передать вызов в ближайшую пожарную часть по радиоканалу или средствами сотовой связи [31].

Однако для нормального функционирования электроприборов в жилом секторе и обеспечения их пожарной безопасности, особенно в сельской местности, где ПКЭ постоянно нарушаются [31, 32], недостаточно одного контроля за качеством потребляемой электроэнергии – целесообразно автоматически «сглаживать некачественность доставки» электроэнергии потребителю, т.е. улучшать ПКЭ в месте потребления электроэнергии, что успешно выполняется регуляторами реактивной мощности [33, 34].

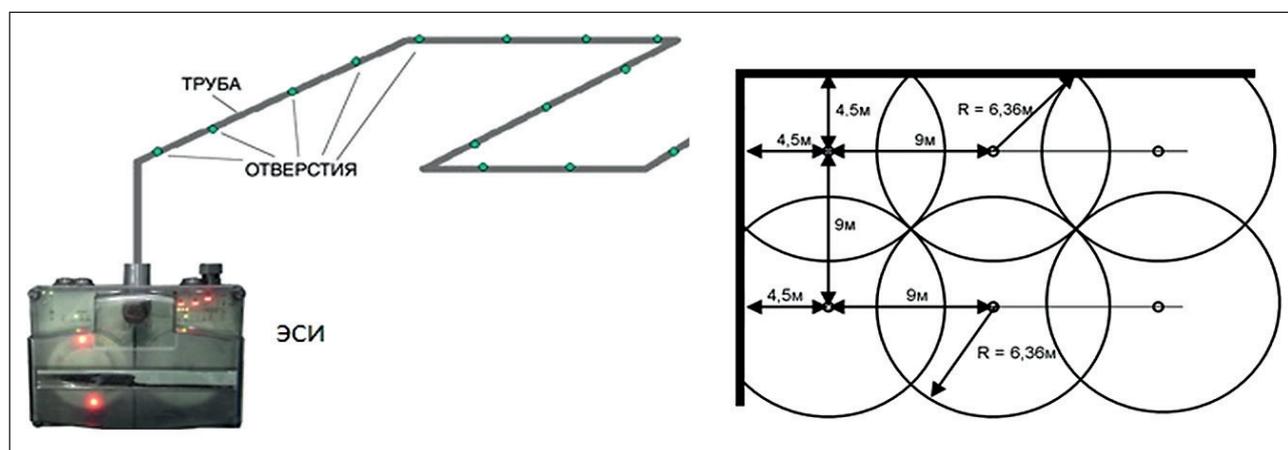


Рис. 8. Схема аспирации с ЭСИ

Контакторные конденсаторные установки получили наиболее широкое распространение в силу более простой реализации и низкой стоимости по сравнению с тиристорными конденсаторными установками. Однако если нагрузка имеет резко переменный характер, то для компенсации реактивной мощности применяются тиристорные конденсаторные установки, т.к. они, во-первых, обладают наиболее высоким быстродействием, а во-вторых, коммутация конденсаторов в них происходит при нулевом значении тока, что значительно увеличивает срок службы как конденсаторных батарей, так и всей установки в целом. При этом по месту подключения различают следующие схемы компенсации реактивной мощности [33, 34]:

- общая – на вводе объекта (предприятия, микрорайона и т.д.);
- групповая – на линии электроснабжения группы однотипных потребителей (группа жилых домов и т.д.);
- индивидуальная – конденсаторная установка устанавливается в непосредственной близости к потребителю с низким косинусом «фи».

В жилом секторе, особенно в сельской местности, индивидуальная схема компенсации более предпочтительна, т.к. позволяет компенсировать реактивную мощность непосредственно в месте ее возникновения и потребления электроэнергии, не вызывая перетока реактивной энергии в линиях электропередач, и в случае неизменности коэффициента мощности потребителя полностью компенсировать реактивную мощность с помощью конденсаторной батареи. При этом возможно реализовать и поперечную, и продольную компенсацию [35, 36].

Учитывая, что в последнее время в структуре домашней бытовой техники начинают преобладать электробытовые приборы с электродвигателями (холодильники, стиральные машины, сплит-системы, пылесосы, электромясорубки и т.д.), и характер нагрузки в жилом секторе стал преимущественно активно-индуктивным, целесообразно использовать конденсаторные компенсаторы (рис. 9) реактивной мощности (ККРМ), основными достоинствами которых являются [33, 34]:

- малые потери активной энергии (в рамках 0,3–0,45 кВт/100 квар);
- незначительная масса (не требует фундамента);
- несложная и недорогая эксплуатация;
- увеличение или уменьшение количества подключаемых конденсаторов в зависимости от изменения косинуса угла сдвига напряжения и тока;
- компактность, дающая возможность монтажа установки в любом месте (рядом с электрооборудованием, электросчетчиком и т.д.).



Рис. 9. Конденсаторный компенсатор реактивной мощности (ККРМ)

Кроме поддержания установленного коэффициента мощности и «сглаживания» колебаний фазного напряжения, тока и генерации реактивной энергии в часы минимальных и максимальных нагрузок (рис. 10) компенсаторы реактивной мощности [33, 34]:

- постоянно отслеживают изменение количества реактивной мощности в компенсируемой цепи;
- исключают перекомпенсацию и ее следствие – перенапряжение в сети;
- проводят мониторинг главных показателей компенсируемой сети;
- проверяют работу всех элементов ККРМ и режим его работы.

Многие авторы считают, что применение ККРМ в однофазных бытовых сетях не эффективно потому, что индивидуальные «однофазные потребители» оплачивают только активную мощность, а компенсация реактивной мощности снижает общее потребление на единицы процентов [36]. При этом нормативные документы также не требуют, чтобы в жилых и общественных зданиях предусматривалась компенсация реактивной нагрузки [37].

Однако с точки зрения возникновения пожаро-электрического вреда достигаемое в этом случае «сглаживание» напряжения и тока позволяет более чем на порядок снизить вероятность пожароопасных отказов в бытовых электроприборах, а следовательно сократить число пожаров и социально-экономических потерь от них [2, 14, 31, 38].

Для автоматического управления компенсацией реактивной мощности, т.е. подключением/отключением конденсаторов в батарее (рис. 11) использован

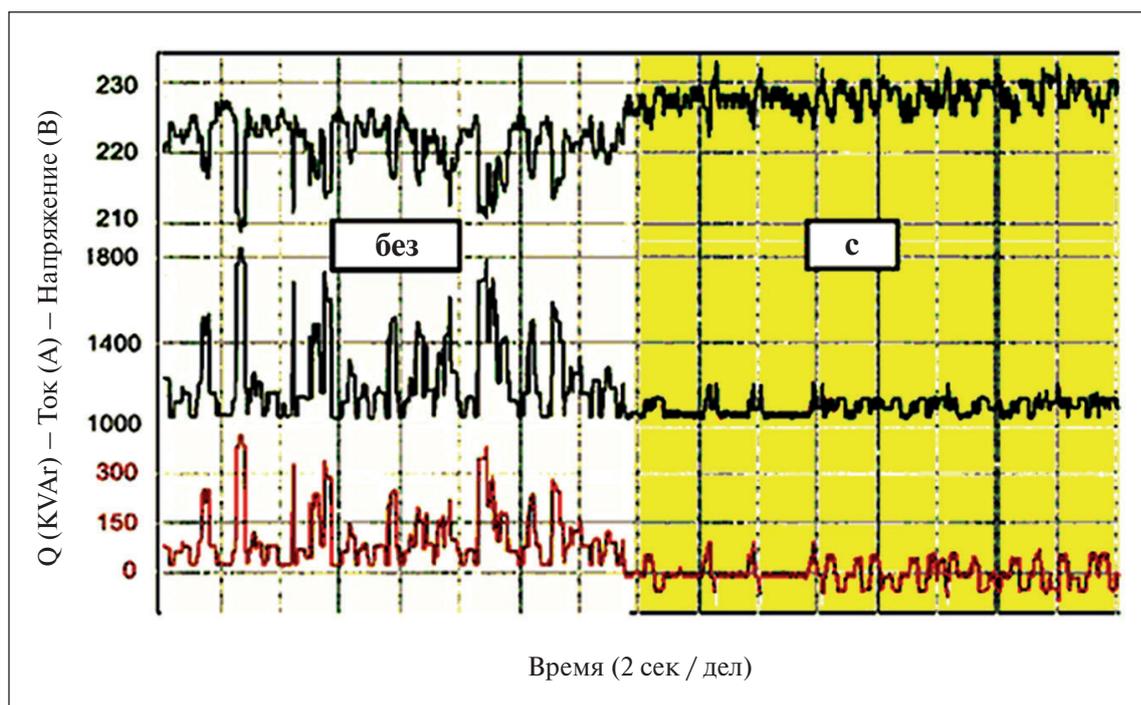


Рис. 10. Графики напряжения, тока и потребляемой мощности с ККРМ и без него

следующий способ определения текущего косинуса «фи», защищенный авторским свидетельством [39]:

$$\cos \varphi = \frac{2U_2^2 - U_3U_1 - U_1^2}{2U_2\sqrt{U_2^2 - U_3U_1}} \cdot \frac{2I_2^2 - I_3I_1 - I_1^2}{2I_2\sqrt{I_2^2 - I_3I_1}} + \left[\pm \sqrt{1 - \left(\frac{2U_2^2 - U_3U_1 - U_1^2}{2U_2\sqrt{U_2^2 - U_3U_1}} \right)^2} \right] \cdot \left[\pm \sqrt{1 - \left(\frac{2I_2^2 - I_3I_1 - I_1^2}{2I_2\sqrt{I_2^2 - I_3I_1}} \right)^2} \right], \quad (7)$$

где U_1, U_2, U_3 – мгновенные значения фазного напряжения потребляемой электроэнергии через равноотстоящие промежутки времени в течение по-

лупериода; I_1, I_2, I_3 – мгновенные фазного значения потребляемого тока через те же равноотстоящие промежутки времени.

Каждый конденсатор КПС-0.55-0.41-2У3 емкостью 10 мкф подключается оптосимисторами МОС3041, а управление оптосимисторами МОС3041 осуществляется путем подачи от цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) контроллера определенного уровня напряжения (0,4 В, 0,8 В, 1,2 В...4 В) на затворы всех полевых транзисторов 2П304А. Режимы 2П304А выбраны так, что при уровне 0,4 В открывается 1-й транзистор, что приводит к «зажиганию»

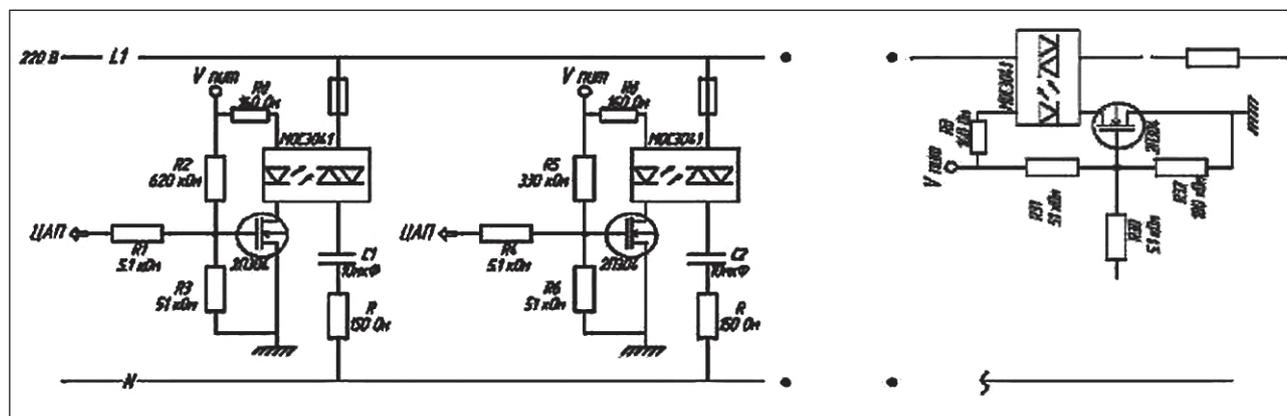


Рис. 11. Принципиальная схема блока управления конденсаторами для одной фазы

светодиода 1-го симистора и подключению первого конденсатора 10 мкФ, при уровне 0,8 В – первого и второго и т.д., вплоть до 4 В, при котором подключаются все 9 конденсаторов, т.е. суммарная емкость батареи составляет 90 мкФ. Для обеспечения такого «ступенчатого управления» были рассчитаны делители из сопротивлений, устанавливающие необходимые рабочие режимы полевых транзисторов для однофазной сети, с учетом ограничения для цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) величины нагрузки, включая последний каскад (рис. 11), который управляется отдельным каналом ЦАП и служит для отключения электроснабжения квартиры/дома при пожароугрожаемом режиме потребления электроэнергии или пожаре [2, 35, 38].

Для 3-хфазной сети, которая используется в жилых высотных зданиях, достаточно установить три конденсаторные батареи по 7 конденсаторов той же емкости в каждой с аналогичным управлением каждой в отдельности, для чего потребуются шесть каналов ЦАП [2, 38].

Таким образом, дополнив ЭСИ блоком компенсации реактивной мощности (БКРМ), получим (рис. 12) электросчетчик-извещатель-подавитель (ЭСИП) ПЭВ, т.е. уменьшение второго слагаемого в формуле (4) и снижения тем самым из-за некачественной электроэнергии, вероятности пожара от всех электроприборов в жилом секторе [2, 14, 24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанный электросчетчик-извещатель-подавитель (рис. 12) содержит в своем корпусе:

- камеру с всасывающим вентилятором (1) и датчиками в ней (тепловым, дымовым, кислородным и оксида углерода), соединенную с трубопроводом аспирационной системы,
- контроллер (2) с многоканальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), с ЖКИП-модулем визуализации (3) и GSM-радиомодемом (4),
- блок компенсации реактивной мощности (БКРМ) с блоком питания и аккумулятором.

В отличие от запатентованных решений ЭСИ [22, 30] блоки измерения потребляемой электроэнергии и ее качества, вычисления пожарно-электрического вреда и идентификации опасных факторов пожара реализованы на контроллере (2) как программные модули, выполняющие следующие функции [2, 35, 38, 40]:

- обрабатывают данные каналов АЦП, к которым подключены указанные датчики, вычисляя и записывая в реальном масштабе времени (во флэш-память и/или на флэш-карту) температуру и концентрации ОФП и кислорода [9–12] в защищаемых помещениях (в воздухе, прокачиваемом через камеру),

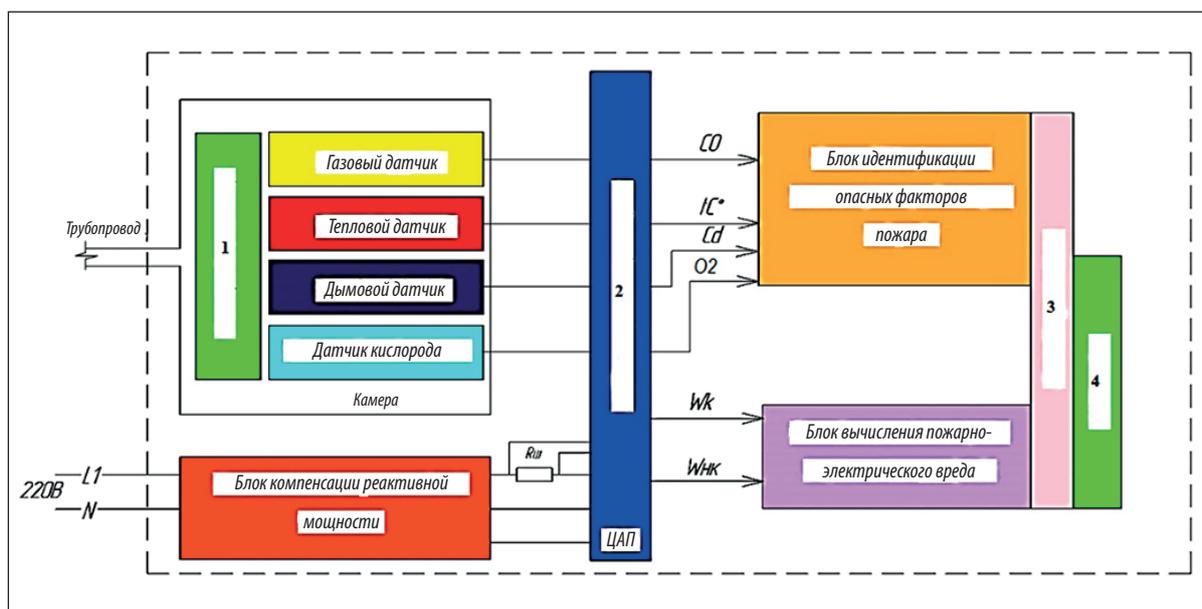


Рис. 12. Блок-схема электросчетчика–извещателя–подавителя (ЭСИП) ПЭВ:

- 1 – электровентилятор; 2 – контроллер с многоканальными АЦП и ЦАП;
3 – жидко-кристаллический индикатор с пьезо-модулем аудио-видеоинформации (ЖКИП-модуль); 4 – GSM-радиомодем

- обрабатывают данные каналов АЦП, которые подключены к токовому шунту (рис. 12) каскада отключения (рис. 11), вычисляя и записывая в реальном масштабе времени (во флэш-память и/или на флэш-карту) ПКЭ[16] и коэффициенты мощности [39], суммируя и визуализируя на ЖКИП-модуле потребляемую электроэнергию (качественную и некачественную) и усредненный текущий косинус «фи»,
- вычисляют пожарно-электрический вред (ПЭВ) по формуле (4), визуализируя его усредненное значение на ЖКИП-модуле (3), и управляют работой БКРМ, по вычисленному по формуле (5) коэффициенту мощности,
- формируют и передают с помощью GSM-радиомодема (4) в электроснабжающую и/или управляющую компанию блоки данных о потребляемой электроэнергии в соответствии с установленными временными периодами и по их запросу, а также в органы надзора (пожарный, энергетический), в пожароугрожаемых случаях, при недопустимом качестве и отключениях электроснабжения,
- идентифицируют ОФП по синхронному росту функции (2) температуры (рис. 1), функций среднеобъемной концентрации монооксида углерода (рис. 4) и среднеобъемной оптической плотности (задымления) воздуха (рис. 6) при снижении концентрации кислорода (рис. 5) в защищаемых помещениях, включают световой и звуковой сигналы тревоги, формируя и осуществляя передачу сообщения о загорании в пожарную охрану с помощью GSM-радиомодема (4), а также собственнику жилья и в управляющую компанию,
- отключают с помощью симистора (рис. 11) в БКРМ электроснабжение защищаемых помещений при пожароугрожаемом режиме потребления электроэнергии и/или при ее недопустимом качестве, а также при обнаружении ОФП в защищаемых помещениях.

Одновременно, вычисляя ПЭВ по формуле (4), программный модуль вычисляет изменения вероятностей (R_d и $R_{нд}$) и их отклонения ($\Delta P_{э}$, ΔP_d и $\Delta P_{нд}$) от среднестатистических данных, которые должен

обновлять энергонадзор по данным пожарного надзора при ежегодной проверке ЭСИП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате системного анализа проблем безопасной жизнедеятельности в жилом секторе (в квартирах в жилых зданиях и в индивидуальных жилых домах) городов и населенных пунктов регионов России выявлены принципиальные недостатки в организации и автоматизации учета потребляемой электроэнергии в жилом секторе.

На основе разработанного вероятностно-физического подхода в возникновении пожарно-электрического вреда (ПЭВ) в жилом секторе при потреблении электроэнергии осуществлен последовательный системный синтез способа и средств диагностики ПЭВ с нанотехнологиями его подавления с помощью электро-счетчика-извещателя-подавителя (блока компенсации реактивной мощности), который совместно с аспирационным способом обнаружения ОФП предотвращает возникновение пожара по электротехническим причинам путем своевременного отключения электроснабжения защищаемых помещений, а также обеспечивает раннее и достоверное обнаружение загорания в них из-за других причин (неосторожного обращения с огнем и т.д.).

Предлагаемый подход, по мнению авторов, призван «устранить беспорядок» в поставке и учете электроэнергии в жилой сектор, а также осуществить оптимальную автоматизацию электроснабжения и пожарной сигнализации в жилом секторе независимо от структур энергоснабжающих/управляющих компаний и территориальных аварийных и надзорных служб.

Предлагаемый метод и ЭСИП позволяют в кратчайшие сроки реализовать его внедрение с помощью реинвестиционной модели системы адаптивного пожарно-электрического налогообложения физических лиц в жилом секторе [20, 31, 32, 38].

Проведенные исследования показали, что предлагаемый подход может быть реализован на объектах торговли, здравоохранения, образования, науки и культуры [3, 12, 20–25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешалкин Е.А. Пожарная безопасность жилых зданий // Системы безопасности. – 2013. – № 1. – С. 106–109.
2. Периков А.В. Системный анализ и нанотехнологии безопасности в инженерных системах жилых высотных зданий // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 2. – С. 114–130. – DOI: [10.15828/2075-8545-2018-10-2-114-130](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-114-130).

3. Прогнозирование, анализ и оценка пожарной безопасности / Е.И. Богуславский, В.В. Белозеров, Н.Е. Богуславский. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004. – 151с.
4. Членов А.Н., Фомин В.И., Буцынская Т.А., Демехин Ф.В. Новые методы и технические средства обнаружения пожара – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 175 с.
5. Yu-Chun Wen, Fa-Xin Yu, Xiao-Lin Zhou, Zhe-Ming Lu. A vector quantization based automatic fire detection system // Information Technology Journal. – 2010. – Vol. 9, Issue 4. – P. 758–765. DOI: 10.3923/itj.2010.758.765..
6. Turgay Çelik, Hasan Demirel. Fire detection in video sequences using a generic color model // Fire Safety Journal. – 2009. – Vol. 44, Issue 2. – P. 147–158. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.05.005.
7. Членов А.Н., Буцынская Т.А., Журавлев С.Ю., Николаев В.А. Об эффективности функционирования мультикристаллического пожарного извещателя // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 12.– С. 55–60. – DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.55-60.
8. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Радиоизвещатели техносферной опасности и ее навигации с Интернет-системой их функционирования // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 2843–2853.
9. Мозговой Н.В., Зайцев А.М. Анализ функциональных зависимостей температурной кривой стандартного пожара // Научный Вестник ВГАСУ. – 2008. – № 3. – С. 196–199.
10. Кошмаров Ю. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении – М.: АГПС МВД РФ, 2000. – 118 с.
11. ГОСТ 12.1.004 Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд. стандартов, 1992. – 77 с.
12. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2014. – 61 с.
13. Рекомендации по применению аспирационных дымовых извещателей VESDA. – Части 1, 2, 3. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2003.
14. Белозеров В.В., Топольский Н.Г., Смелков Г.И. Вероятностно-физический метод определения пожарной опасности радиоэлектронной аппаратуры // Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ: Материалы XII Всероссийской науч.-практ.конф. – М.: ВНИИПО, 1993. – С. 23–27.
15. Кушнарев Ф.А., Решетников Ю.М., Никифорова В.Н., Ермаков В.Ф. Статистический анализатор качества и учета расхода электроэнергии // Патент РФ № 2260842. – 15.07.2008.
16. ГОСТ 13109-97 Качество электрической сети. Общие требования. – М: Изд. стандартов, 1997. – 54 с.
17. Измеритель электрических параметров качества, мощности и количества электрической энергии телеметрический LPW-305 // Руководство по эксплуатации: ДЛИЖ.411722.0001 РЭ. – М: ООО «Л Кард», 2011. – 95 с.
18. Авдеев А.С., Герасимова А.И. Основные проблемы программирования систем «Умный Дом» // Перспективы науки. – 2014. – № 10 (61). – С. 62–65.
19. Лоскутов А. Б., Гардин А. И., Лоскутов А. А. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии / монография. – Н. Новгород: НГГТУ, 2018. – 84 с.
20. Белозеров В.В., Олейников С.Н. К вопросу об адаптивном пожарно-энергетическом налоге в обеспечении пожарной безопасности // Совершенствование теории и методологии финансов и налогообложения: мат-лы междунар. научно-практ. конф. Приволжский НИЦ. – Йошкар-Ола: «Коллективум», 2012. – С. 106–111.
21. Энциклопедия кибернетики в двух томах под ред. акад. Глушкова В.М. – Киев: АН УССР (Гл.ред.УСЭ), 1974. – Т. 1.
22. Белозеров В.В., Олейников С.Н. Способ определения пожарно-электрического вреда и опасных факторов пожара с помощью электросчетчика-извещателя // Патент РФ № 2622558. – 07.09.2012.
23. Белозеров В.В. Экспериментальные методы оценки качества, надежности и безопасности электроприборов // Технологии техносферной безопасности. – 2009. – № 5 (27). – 9 с. – <http://academygps.ru/ttb>.
24. Белозеров В.В., Любавский А.Ю., Олейников С.Н. Модели диагностики надежности и безопасности СВТ и АСУ объектов техносферы – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2015. – 130 с.
25. Белозеров В.В. О целесообразности пересмотра основных пожарных стандартов // Ежегодная международная научно-техническая конференция «Системы безопасности-2014». – М.: АГПС МЧС России. – С. 274–282.
26. Белозеров В.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Нгуэн Т.А., Топольский Н.Г. Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 174–184. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184.
27. Буйло С.И., Белозеров В.В., Прус Ю.В. Совмещенная термогравиметрическая и акустико-эмиссионная диагностика стадий термодеструкции веществ и материалов // Дефектоскопия. – 2008. – Т. 44, № 3. – С. 71–74. – DOI: 10.1134/S1061830908030078.
28. Белозеров В.В., Белозеров Вл.В. Баро-электро-термо-акустический метод анализа веществ и материалов и БЭТА-анализатор, его реализующий // Фундаментальные основы физики, химии и динамики наукоемких технологических систем формообразования и сборки изделий: сборник трудов научного симпозиума технологов-машиностроителей. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2019. – С. 298–306.
29. Белозеров В.В., Олейников С.Н. О пространственно-временном статистическом анализе пожаров // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 58.
30. Олейников С.Н. Электросчетчик – извещатель пожарно-электрического вреда // Патент РФ № 135437. – 16.04.2013, опубл.10.12.2013, бюл. № 34.

31. Синергетика безопасности жизнедеятельности в жилом секторе: монография / В.В. Белозеров, Т.Б. Долаков, С.Н. Олейников, А.В. Периков. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 186 с. – DOI: 10.17513/np.283.
32. Белозеров В.В., Долаков Т.Б. Синергетика автоматизации защиты жилого сектора в сельской местности // Инновации и инжиниринг в формировании инвестиционной привлекательности региона: сб. науч. тр II Открытого международного научно-практического форума. – Ростов н/Д: ДГТУ, ЮФУ, 2017. – С. 362–371.
33. Белый В.В. Электромагнитная совместимость элементов систем электроснабжения, содержащих устройства компенсации реактивной мощности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 6 (56). – С. 62–65.
34. Конденсаторная установка компенсации реактивной мощности – КРМ 0,4. – М.: ООО «АльянсЭнергоСервис», 2014. – 18 с.
35. Белозеров В.В., Долаков Т.Б., Белозеров Вл.В. О безопасности и перспективах электрообогрева в индивидуальных жилых домах // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 11. – С. 7–13.
36. Шишкин С.А. Компенсация реактивной мощности и потери электроэнергии в сельских распределительных сетях 6(10)/0,4 кВ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 10. – С. 21–23.
37. Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.185-94. Утверждена: Министерством топлива и энергетики РФ 07.07.94. РАО «ЕЭС России» 31.05.94. Введена в действие с 01.01.95 г.
38. Периков А.В. Модель автоматизированной микросистемы подавления пожарно-электрического вреда // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3-3. – URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=18323> (дата обращения: 10.03.2021).
39. Мелентьев В.С., Баскаков В.С., Шутов В.С. Способ определения коэффициента мощности. – А.С. SU № 1679401 A1, G 01R21/00 от 18.07.1989.
40. Белозеров В.В., Денисов А.Н., Долаков Т.Б., Ворошилов И.В., Никулин М.А., Олейников С.Н., Белозеров В.В. Способ раннего и достоверного обнаружения опасных факторов пожара с подавлением пожарно-электрического вреда в жилых помещениях. – Заявка на изобретение RU 2021112049 от 27.04.2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белозеров Валерий Владимирович, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Системы автоматизированного контроля» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6999-7804>, e-mail: safeting@mail.ru

Белозеров Владимир Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматизированного контроля» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4758-1036>, e-mail: isagraf@mail.ru

Долаков Тимур Бекович, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Академия ГПС» МЧС РФ, г. Москва, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7143-5608>, e-mail: dolakov23@gmail.com

Никулин Михаил Александрович, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Государственный Аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Россия, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7756-3456>, e-mail: pojar_2003@mail.ru

Олейников Сергей Николаевич, к.т.н., зам. начальника факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8316-075X>, e-mail: osn-fire@bk.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 15.03.2021.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 04.04.2021.

Статья принята к публикации: 08.04.2021.