УДК 621.313:614.84

О БЕЗОПАСНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВАХ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ

[1]Белозеров В.В., [2]Долаков Т.Б., [3]Белозеров В.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, e-mail: safeting@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России», Москва, e-mail: dolakov23@gmail.com;

[3]ООО «Научный производственно-технологический центр ОКТАЭДР», Ростов-на-Дону, e-mail: isagraf@mail.ru

В статье представлен сравнительный анализ различных видов автономного обогрева индивидуальных жилых домов. Показана перспективность последовательной реализации электрообогрева, как самого экологически чистого и безопасного способа, если применить при его создании и использовании современные инновационные технологии, например солнечные батареи. Приведена модель схемы электрообогрева индивидуального жилого дома, а также результаты и рекомендации по обеспечению надежности и пожарной безопасности электрокотла. Показано, что в случае применения разработанного авторами метода мониторинга пожарно-электрического вреда (ПЭВ) с помощью электросчетчиков-извещателей (ЭСИ) можно достичь «абсолютной» пожарной и экологической безопасности жилья. Принципиально новым при этом является то, что ЭСИ позволяет, во-первых, определять и оплачивать только «качественную» электроэнергию, а во-вторых, ввести адаптивный пожарно-энергетический налог (АПЭН), с помощью которого и реализовать пожарную безопасность жилого сектора.

Ключевые слова: надежность, технический ресурс, пожарная и экологическая безопасность, пожаробезопасный ресурс, автономный обогрев, электрокотел, пожарно-электрический вред

ABOUT SAFETY AND PROSPECTS OF THE ELECTRICAL HEATING IN INDIVIDUAL HOUSES

[1]Belozerov V.V., [2]Dolakov T.B., [3]Belozerov V.V.

[1]Don State University, Rostov-on-Don, e-mail: safeting@mail.ru;

[2]Academy of the Fire Public Service of Emercom of Russia, Moscow, e-mail: dolakov23@gmail.com;

[3]LLC Scientific Production and Technological Center OCTAEDR, Rostov-on-Don, e-mail: isagraf@mail.ru

The comparative analysis of different types of autonomous heating of individual houses is presented in article. Prospects of consecutive realization of an electrical heating, as are shown most environmentally friendly and safe way if to apply at its creation and use modern innovative technologies, for example, solar batteries. The model of the scheme of an electrical heating of an individual house, and also results and recommendations about ensuring reliability and fire safety of the electric boiler is given. It is shown that, in case of application developed by authors of a method of monitoring of the fire and electric harm (FEH) by means of electric meters announcers (EMA), it is possible to reach «absolute» fire and ecological safety of housing. Thus that ESI allows to define and pay, first, only the «qualitative» electric power is essentially new, and secondly, to impose the adaptive fire and power tax (AFPT) by means of which and to realize fire safety of inhabited sector.

Keywords: reliability, technical resource, fire and ecological safety, fireproof resource, autonomous heating, electric boiler, fire and electric harm

В последнее время обогрев индивидуальных жилых домов все чаще реализуется с помощью систем электрического отопления. Очевидно, это вызвано тем, что единовременные затраты при установке электрообогрева в 3 раза ниже, чем проектирование и монтаж системы газоснабжения дома, а также в тех случаях, когда дом расположен в негазифицированной местности [1–3].

Установки водяного, воздушного или инфракрасного электрического отопления, помимо возможности их самостоятельного монтажа и эксплуатации, обладают существенными преимуществами [3]:

– во-первых, простотой управления и регулировки работы путем задания требуемой температуры (не требуется контроля потребления топлива),

– во-вторых, современные радиаторы, конвекторы и инфракрасные излучатели позволяют установить комфортный режим уже через 10 минут после их включения,

– в-третьих, электрическое отопление позволяет исключить взрывы и пожары от утечек бытового газа, которые участились в последние годы в России [4].

Методология и результаты исследования

Сравнительный анализ существующих методов и средств жизнеобеспечения индивидуальных жилых домов приводит к выводу, что появилась возможность последовательно-

го повышения эффективности системы электрического обогрева/охлаждения дома путем комплексирования её с солнечными батареями и вихревыми воздухоохладителями и создания таким образом автономной и экологически чистой системы (рис. 1).

Принимая во внимание, что достоинства и недостатки существующих средств и газового, и электрического обогрева, включая их эффективность, достаточно исследованы [1–4], представляют интерес перспективы их совершенствования с точки зрения безопасной жизнедеятельности.

Применение полимерных конструкций «водяных теплых полов» обеспечивает их безопасность и высокую надежность [2], а в «солнечной подсистеме» высокие показатели надежности и безопасности обеспечиваются контроллером и «интеллектом» инвертора [3].

Слабым местом систем электрообогрева, как показали исследования (табл. 1, 2), являются электрокотлы, так как интегральная вероятность пожара таких установок состоит из двух составляющих – пожарной опасности пульта уравления и электрокотла – и достигает 0,005, что в 5 тысяч раз (!) превышает требование ГОСТ 12.1.004 [5].

Исследования показали, что пожарная опасность пульта управления ниже нормативной – 0,000001 по ГОСТ 12.1.004-91 (табл. 1), а вероятность пожара электрокотла равна $4{,}86 \cdot 10^{-3}$ (табл. 2), превышая нормативную более чем на три порядка [5].

Дело в том, что защитные кожухи крышек ТЭНов выполнены из полимерного материала с температурой воспламенения 317,5 °С, а схема аварийного отключения (92 ± 3 °С) не контролирует тепловой режим коммутационных панелей ТЭНов и поэтому не может предотвратить их критический нагрев, который может возникнуть из-за изменений переходных сопротивлений в результате циклического перегрева электроустановочных изделий (клемм и т.д.) [5].

Для приведения электрокотла в норму следует его доработать (например, изготовить указанные конструкции из металла или негорючего материала, установить термоэлектронную защиту и т.п.), после чего провести испытания трех доработанных изделий в соответствии с разработанной методикой [1, 5].

Следует отметить, что испытания электрических котлов во ВНИИ противопожарной обороны МЧС России выявили еще один вид их пожаровзрывоопасности, связанной с образованием водорода на поверхности нагрева, что, по мнению авторов, и привело к инновационному решению (рис. 2) – созданию электрокотла с индукционным нагревом [4].

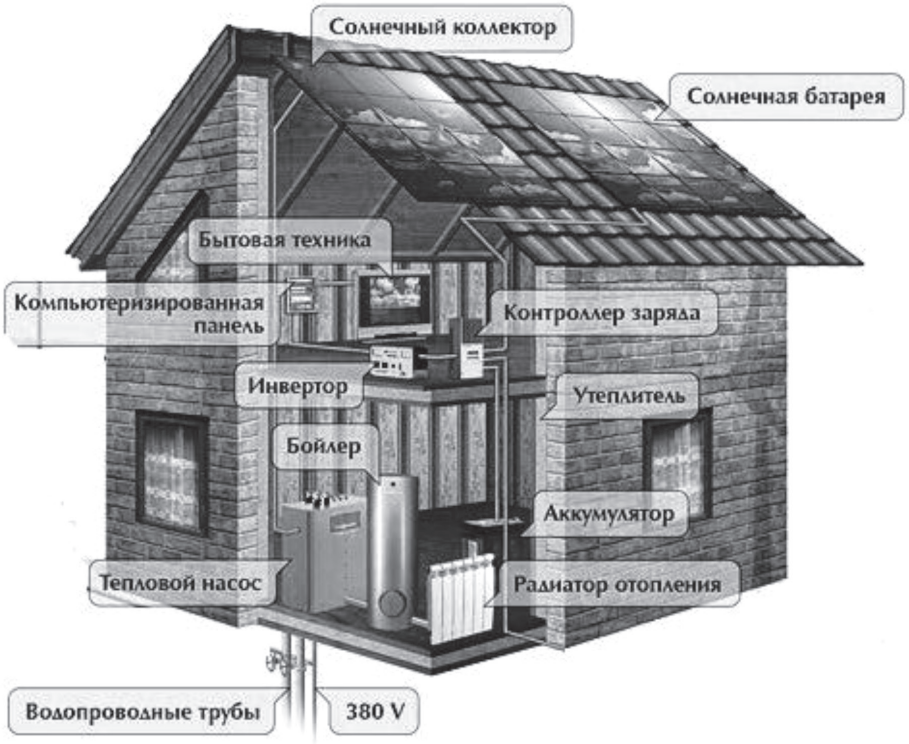


Рис. 1. Комбинированная система электрообогрева дома

Таблица 1

Показатели надежности и пожарной опасности блока управления ЭПО-108

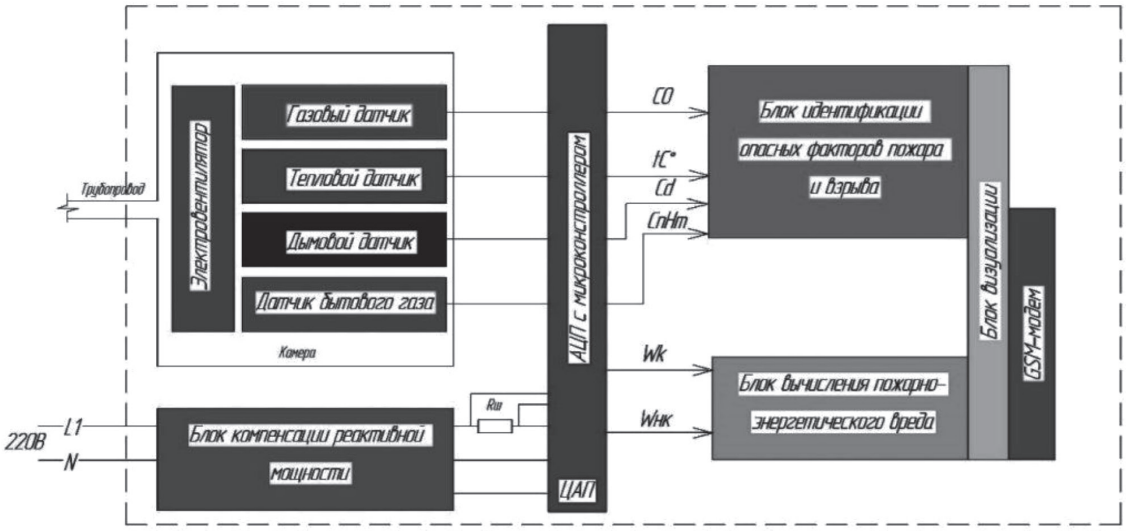
ЭПО-108 (блок управления)	Среднее значение в изделии				Средняя интенсивность в группе				Вероятность в группе					
Класс и тип ЭРЭ	Тем-ра восплам.	Рек. нагрузка	Выводы	Кол-во ЭРЭ	Отказа номин.	Отказа фактич.	Воспламенения	Пож. опас. отказов	Кор. замык.	Обрыва	Пробоя	Воспламенения	Распр. огня	Пожара ЭРЭ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Диоды	242,4	0,35	2	3	8,6E-7	2,97E-7	3,41E-9	3,353E-8	0,061	0,193	0,093	2,98E-5	2,93E-4	3,78E-9
Резисторы	301,8	0,56	2	4	2,1E-7	8,72E-8	1,45E-9	3,119E-8	0,264	0,171	0,000	1,26E-5	2,73E-4	2,12E-9
Конденсаторы	438,1	0,63	2	2	2,3E-7	4,94E-8	2,33E-10	1,015E-8	0,130	0,000	0,075	1,95E-6	8,89E-5	1,07E-10
Пускатели	254,7	0,83	5	4	7,4E-7	6,28E-7	3,24E-9	3,643E-8	0,058	0,353	0,000	2,83E-5	3,19E-4	5,50E-9
Дроссели/ транс-форматоры	254,7	0,00	2	4	4,6E-7	3,79E-7	1,85E-9	2,203E-8	0,058	0,353	0,000	1,61E-5	1,93E-4	1,82E-9
Эл-ты комму-тации	369,3	0,69	5	4	4,5E-6	1,16E-6	3,87E-9	1,104E-7	0,095	0,000	0,000	3,38E-5	9,68E-4	1,06E-8
Оптико-элек-трон. приборы	309,6	0,60	4	2	5,3E-6	2,76E-6	5,67E-9	8,017E-7	0,090	0,050	0,200	4,96E-5	7,01E-3	9,76E-8
Соединит-ные элементы	318,5	0,65	2	3	1,6E-6	9,94E-7	7,41E-9	1,910E-7	0,192	0,027	0,000	6,49E-5	1,67E-3	6,78E-8
Соединения/ пайки	274,7	0,65	1	83	5,1E-8	1,34E-7	2,09E-9	6,733E-8	0,400	0,400	0,100	1,83E-5	5,90E-4	4,83E-9
Платы печатной схемы	265,4	0,65	0	1	7,9E-7	8,68E-8	6,56E-10	1,667E-8	0,192	0,027	0,000	5,66E-6	1,46E-4	6,94E-10
Всего				**26**		**6,59E-6**								**1,95E-7**
Станд. откл.						1,84E-6								5,82E-8
Безотказность ПБ						**0,9288**								**2,53E-7**
Технический/ ПБ ресурс, лет:						**24,04**								**3,95**

Таблица 2

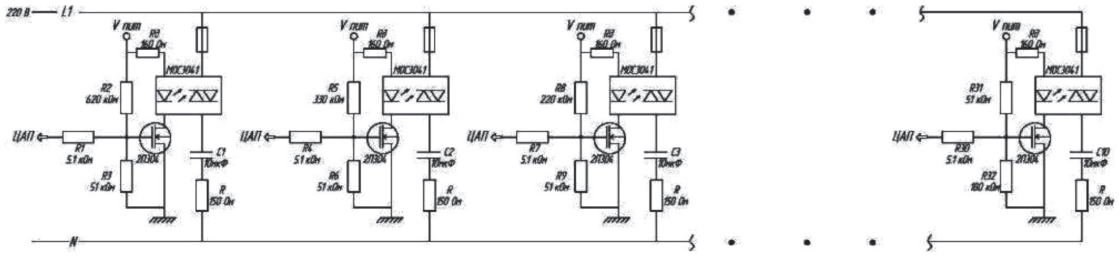
Расчет пожарной опасности электрокотла ЭПО-108

ЭПО-108 (котел)	Ср. значения в изделии				Ср. интенсивность в группе				Вероятность в группе					
Класс и тип ЭРЭ	Темп-ра восплам.	Рек. нагр.	Выво-дов	Кол-во ЭРЭ	Отказов номин.	Отказов фактич.	Воспла-менения	Пож. опасн. отказов	Кор. замык.	Обрыва	Пробоя	Воспла-менения	Распр-я огня	Пожара ЭРЭ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Диоды	242,4	0,35	2	1	8,6E-7	9,91E-8	1,145E-9	1,118E-8	0,061	0,193	0,093	9,951E-6	9,79E-5	4,293E-10
Резисторы	301,8	0,56	2	1	2,0E-7	2,18E-8	3,702E-10	7,805E-9	0,264	0,171	0,000	3,157E-6	6,83E-5	1,425E-10
Эл-ты комму-тации	369,3	0,69	5	4	4,5E-6	1,16E-6	3,875E-9	1,104E-7	0,095	0,000	0,000	3,388E-5	9,681E-4	1,064E-8
ТЭНы	317,5	0,80	4	12	1,2E-5	4,56E-5	3,313E-6	3,651E-5	0,500	0,100	0,300	2,879E-2	2,920E-1	4,855E-3
Оптико-элек-трон. приборы	309,6	0,60	4	0	5,3E-6	1,00E-11	1,00E-11	1,00E-11	0,090	0,050	0,200	1,00E-11	1,00E-11	1,000E-11
Соединит-ные элементы	318,5	0,65	2	11	1,6E-6	3,29E-6	2,451E-8	6,319E-7	0,192	0,027	0,000	2,148E-4	5,528E-3	8,864E-7
Соединения/ пайки	274,7	0,65	1	112	5,1E-8	3,91E-7	6,086E-9	1,958E-7	0,400	0,400	0,100	5,326E-5	1,716E-3	5,397E-8
Платы печат-ной схемы	265,4	0,65	0	4	7,9E-7	3,47E-7	2,595E-9	6,667E-8	0,192	0,027	0,000	2,266E-5	5,843E-4	1,096E-8
Всего				**30**		**5,10E-5**								**4,86E-3**
Стандартное отклонение:						1,40E-5								1,35E-3
Безотказ-ность / ПБ						**0,5656**								**6,22E-3**
Технический /ПБ ресурс, лет:						**3,0897**								**0,00016**

Рис. 2. Внешний вид установки с индукционным нагревом



а)



б)

Рис. 3. Блок-схема ЭСИ с КРМ (а) и электрическая схема блока КРМ (б)

Для предотвращения пожаров от электроприборов в жилом секторе было введено понятие пожарно-электрического вреда (ПЭВ) и разработан метод диагностики ПЭВ [6] с помощью электросчетчика-извещателя (ЭСИ). Более того, в последних версиях в ЭСИ был установлен блок компенсации реактивной мощности (рис. 3) и термомагнитный сепаратор воздуха [7], которые не только обнаруживают ПЭВ и опасные факторы пожара (ОФП), но и подавляют их. Это дает основание утверждать, что внедрение предлагаемой комбинированной системы энергообеспечения индивидуальных жилых домов не имеет альтернативы.

Как показали исследования [8], низкое качество потребляемой электроприборами электроэнергии, т.е. пониженное или повышенное напряжение, фазовый сдвиг тока и напряжения, гармоники и пр., сокращает технический и пожаробезопасный ресурс электроустановочных изделий, электропроводки и электроприборов, так как приводит к возникновению пожароопасных отказов в них, увеличивая тем самым вероятность возникновения пожаров по электротехническим причинам в соответствии с ГОСТ 12.1.004.

В качестве параметра управления качеством потребленной электрической энергии используется коэффициент мощности, как наиболее объективный показатель энергоэффективности сети. Для определения текущего значения коэффициента мощности в каждый момент времени необходимо синхронно измерить по три значения силы тока и напряжения в сети и вычислить значение фазного угла и его косинуса по формуле [9]:

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

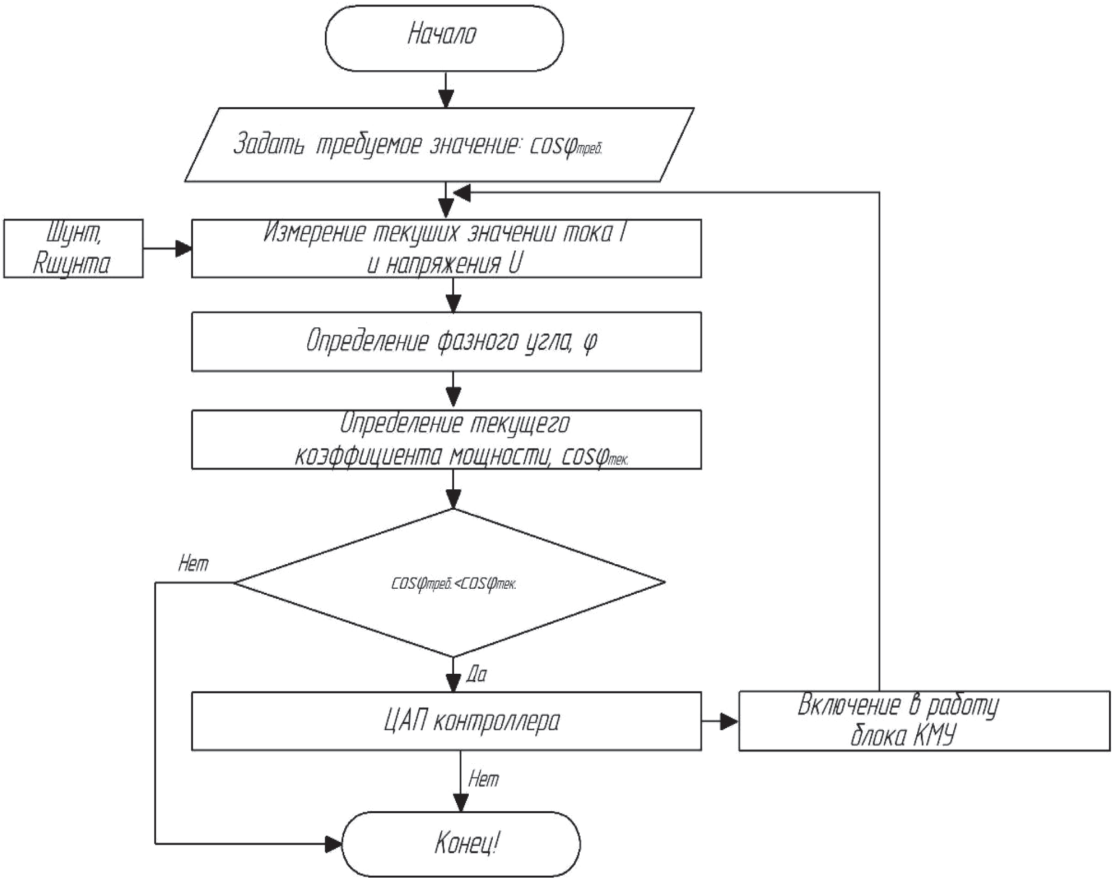


Рис. 4. Алгоритм блока компенсации реактивной мощности

Таким образом, алгоритм (рис. 4) автоматизированного управления подавлением ПЭВ заключается в подключении определенного количества конденсаторов необходимой емкости следующим образом:

– в программируемый микроконтроллер вводится нормативное значение коэффициента мощности,

– АЦП контроллера через коммутатор синхронно измеряет по три текущих значения тока и напряжения и по указанной формуле в реальном масштабе времени вычисляет текущее значение коэффициента мощности,

– контроллер сравнивает текущее значение косинуса «фи» с требуемым значением, после чего подключает или отключает определенное количество конденсаторов через ЦАП.

Каждый конденсатор КПС-0.55-0.41-2У3 подключается оптосимисторами МОС3041, а управление оптосимисторами МОС3041 осуществляется путем подачи от 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» светодиода 1-го симистора и подключению конденсатора 10 мкФ, при уровне 0,8 В – 1-го и 2-го и т.д., вплоть до 4 В, которые подключают всю батарею емкостью 90 мкФ.

Для трехфазной сети, как показали расчеты, используются три конденсаторные батареи по 7 конденсаторов в каждой с аналогичным управлением каждой в отдельности.

Таким образом, предлагаемая «интеллектуализация» электросчетчика, который позволяет регистрировать и подавлять «некачественность» электроэнергии и вычислять изменение вероятности пожара по электротехническим причинам, с установокй в ЭСИ пожарных извещателей и сопряжением их с аспирационной системой, помимо диагностики ПЭВ и возможности реализации оплаты в соответствии с качеством электроэнергии, позволит, во-первых, предотвращать загорание электроприборов при пожароопасном отказе в них, путем обесточивания электросети, во-вторых, осуществить раннее обнаружение и подавление ОФП в квартире/доме, где такой электросчетчик установлен, с помощью термомагнитного сепаратора воздуха, в-третьих, включить звуковое оповещение о пожаре для своевременной эвакуации жильцов и, в-четвертых, передать сообщение о пожаре в ближайшую пожарную часть с помощью GSM-радиомодема [6, 7, 10].

Учитывая отсутствие финансирования мероприятий по пожарной безопасности на муниципальном уровне, где решаются практически все вопросы жилищно-коммунального хозяйства, предложено реализовать внедрение ЭСИ с помощью реинвестиционной модели системы адаптивного пожарно-электрического налогообложения (АПЭН) физических лиц в жилом секторе [6, 11].

Выводы

Проведенные исследования показали перспективность применения электрообогрева в индивидуальных жилых домах, как самого экологически чистого и безопасного способа, при условии последовательной реализации современных инновационных технологий.

Приведена модель схемы электрообогрева индивидуального жилого дома с использованием солнечных батарей и рекомендаций по обеспечению надежности и пожарной безопасности электрокотлов.

Показано, что при диагностике и подавлении пожарно-электрического вреда (ПЭВ) с помощью электросчетчиков-извещателей (ЭСИ) можно достичь пожарной безопасности жилья в соответствии с ГОСТ 12.1.004, а также определять и оплачивать только «качественную» электроэнергию.

Предложено реализовать указанные инновационные решения с помощью адаптивного пожарно-энергетического налога (АПЭН).

Список литературы

1. Рекомендации по устройству электрообогреваемых полов и панелей / А.Н. Михальчук, В.Т. Фомичев, О.Н. Горячев и др. – Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1986. – 21 с.

2. Николаев С.В. Водяной теплый пол со стальным характером // Промышленный электрообогрев и электроотопление – 2015. – № 2. – С. 68–71.

3. Отопление жилых домов // ЭВАН news. – 2016. – № 3. – С. 11–21.

4. Корнеев В. Взрывы бытового газа в жилых домах в России в 2016 году. Досье // ТАСС: информационное агентство России. 2016. – URL: http://tass.ru/info/3727196 (дата обращения: 27.10.2017).

5. Белозеров В.В., Рейзенкинд Я.А., Рудковская Л.М., Хаишбашева С.В., Фридман И.М., Белозеров В.В. Методика оценки пожарной опасности и надежности отопительного электроприбора (ЭПО) – Ростов н/Д: «ЭВАН», 2004. – 43 с.

6. Олейников С.Н. Модели и алгоритмы управления пожарной безопасностью жилого сектора: дис… канд. тех. наук / АГПС МЧС России. – М., 2013. – 108 с.

7. Бахмацкая Л.С., Олейников С.Н., Периков А.В. Синтез аспирационного и термомагнитного методов выделения и подавления пожарно-энергетического вреда в автоматизированную систему обеспечения безопасности жилого сектора // Электроника и электротехника. – 2016. – № 2. – С. 88–95.

8. 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: сб. мат-лов XII Всероссийской науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО, 1993. – С. 23–27.

9. 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.

10. Белозеров В.В., Периков А.В., Олейников С.Н. О модели безопасности и энергосбережении жилых зданий // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 5–1. – С. 107–109.

11. Олейников С.Н. О системе учета и налогообложения пожарно-электрического вреда // Технологии техносферной безопасности: электронный научный журнал. – 2013. – № 3 (49).