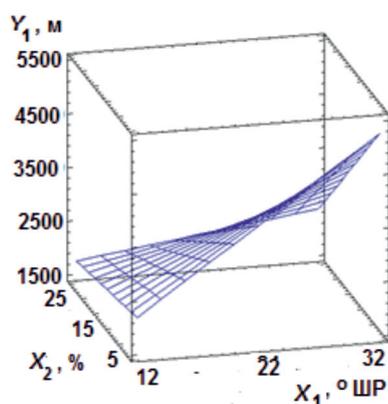


Из числа изученных свойств только показатель  $Y_1$  – сопротивление разрыву удовлетворяет этому условию. После удаления из уравнения регрессии (1) слагаемых, в которых уровень значимости коэффициентов  $b_{ij}$  больше порогового уровня 0,05, и пересчета оставшихся коэффициентов получено уравнение

$$Y_1 = 309,6 + 153,7 X_1 + 44,2 X_2 - 4,89 X_1 X_2. \quad (2)$$

Знак «минус» у последнего слагаемого в уравнении (2) указывает на наличие антагонизма между  $X_1$  и  $X_2$ . Рисунок поверхности отклика, описываемой уравнением (2), наглядно иллюстрирует это явление: прирост прочности у бумаги без наполнителя с увеличением степени помола целлюлозы значительно более интенсивный, чем у бумаги с наполнителем.



Поверхность отклика уравнения (2)

**Заключение.** При разработке и оптимизации процессов производства бумаги следует учитывать возможность проявления эффектов синергизма и антагонизма между технологическими факторами – степенью помола волокнистых полуфабрикатов, композиционным составом бумажной массы и другими.

#### Список литературы

1. Фляте Д.М. Свойства бумаги. Изд. 5 (стереотипное). СПб.: Лань, 2012. 381 с.
2. Иванов С. Н. Технология бумаги: учебное пособие. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
3. Алашкевич Ю.Д., Марченко Р.А., Решетова Н.С. Процесс безножевой обработки волокнистой суспензии в установке «струя-преграда» // Химия растительного сырья. 2009. № 2. С. 157-163.
4. Дубовый В.К., Гурьев А.В., Казаков Я.В. и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учебное пособие / Под ред. В.И. Комарова и А.С. Смолина. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2006. 230 с.
5. Пен Р.З., Каретникова Н.В., Чендылова Л.В. Измерение облачности просвета бумаги // Перспективы развития техники и технологии в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности. Сб. материалов VII Всероссийской отраслевой научно-практ. конф. Екатеринбург, 2019. С. 69-72.
6. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraph-ics Centurion. Красноярск: РИЦ СибГТУ, 2014. 293 с.

## МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЖАРОВ И ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УМНОЙ РОЗЕТКИ

Пищанская М.И.

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет,  
Томск, e-mail: mip10@tpu.ru

Научный руководитель: Иванова В.С.  
Научный консультант: Коломейцев А.А.

В научном обзоре рассмотрены проблемы и их современные схмотехнические решения, на которые стоит обратить внимание при проектировании «умной» розетки, связанные с риском поражения электрическим током и появления электрических пожаров в бытовой сети. Проанализирована статистика причин электрических пожаров. Приведены примеры использования таких компонентов как RFID-метка, аварийный прерыватель заземления GFCI, фильтра подавления СКИ, устройство защиты при дуговом пробое AFCI на основе публикаций современных исследователей. Также представлены результаты исследования, добавляющие важное требование к электромагнитному реле – время отпускания и дребезга, высказана идея добавления датчика дыма внутри корпуса розетки. В заключении проанализировано одно из схмотехнических решений для «умного сетевого фильтра».

«Умные» устройства с технологиями Интернета вещей (IoT) становятся обычным явлением в каждом доме. IoT помогает решить проблемы эффективного расхода энергоресурсов, позволяют предотвращать, вовремя реагировать на аварийные ситуации, тем самым уменьшая финансовые затраты и обеспечивая безопасность человека (IoT Human Security) [1].

Одна из основных угроз – поражение электрическим током, поэтому следует уделить внимание технологическому развитию последнего элемента цепи электропитания – розетке. Сегодня к «умным» розеткам добавлены различные функции, такие как беспроводное управление, мониторинг электроэнергии, работа по расписанию и т.д., которые делают розетку более «умной». Однако, по данным NFPA проблемы работы устройств с электрическим током, связанные с безопасностью человека и его имуществом, остаются наиважнейшими. В отчете NFPA за 2018 год указывается, что в США произошло 47700 бытовых электрических пожаров, в результате которых погибло 418 человек, 1570 – получили ранения, прямой ущерб имуществу составил 1,4 млрд долларов [2]. Это означает, что стандартные системы защиты не сработали или не успели сработать как в общей системе подачи электричества в доме, так и в розетке.

Важны и другие статистические данные, указывающие на необходимость мониторинга электроэнергии в реальном времени. Например,

13% пожаров вызванные необслуживаемым оборудованием можно было бы предотвратить, заметив разницу между данными с умных розеток и данными с общего счетчика в доме. Также одна четверть этих пожаров произошла в период с полуночи до 8 часов утра, что стало причиной 60% смертей. Необслуживаемым оборудованием может послужить, например, телевизор, кондиционер, зарядное устройство, которые обычно переведены в режим ожидания [3], в котором потребляется. Таким образом, программная защита и беспроводное управление способны не допустить пожары даже в редко посещаемых местах дома, где и возникали пожары: в спальне (17% от общего количества), на чердаке или на потолке (12%), в сборке стен или в скрытом пространстве (9%).

Аналогичная ситуация возникает с ударами электричеством. По данным Фонда электробезопасности в Северной Америке каждый день около 7 детей проходят лечение в отделениях неотложной помощи больницы от поражения электрическим током или ожогов, вызванных несанкционированным вмешательством в розетку, а пожары и ожоги являются третьей по значимости причиной непреднамеренной смерти среди детей в возрасте до 14 лет.

Таким образом, целью данного научного обзора является поиск современных подходов к решению проблем с помощью «умной» розетки связанных с

1. возгоранием по причине короткого замыкания (КЗ) и перепадов бытовой сети,
2. поражением электрическим током.

### 1. Электрические пожары

1.1. Ученые провели исследование [4], где измерили максимальное время до повреждения менее 20 мс для различных материалов, изоляции и сечений (рисунок).

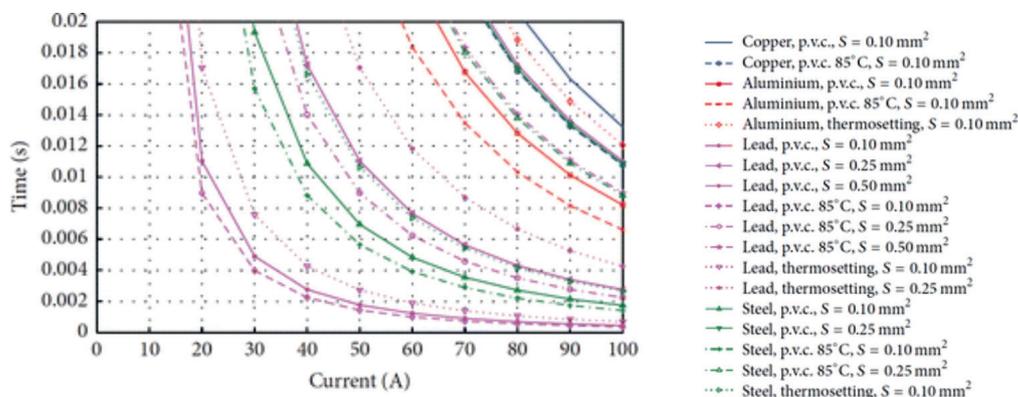
Исходя из графика на рисунке в результате КЗ в медном кабеле с ПВХ-изоляцией и площадью поперечного сечения  $0,1 \text{ мм}^2$  возникнет ток в 90 А и примерно через 17 мс изоляция расплавится и может загореться. Следовательно, поскольку розетка будет размещена после обыч-

ного домашнего МСВ, она должна реагировать так же быстро. Для токов низкой нагрузки (до 100 А) время, необходимое для переключения контактов обычно колеблется от 20 мс до 50 мс; следовательно, будет существовать риск, что МСВ сработает уже после возгорания. Следовательно, необходимо учитывать время для отключения питания, поскольку для физического отключения цепи требуется аппаратное устройство, например, реле. *Время отпускания реле* (release time) варьируется от десятков мкс до нескольких мс. Необходимо учитывать, что время отпускания не включает *время дребезга контактов* (bounce time).

Таким образом, авторы статьи утверждают, что реле должно быть выбрано не только, чтобы соответствовать ограничениям по напряжению и току, но также чтобы максимально сократить время отпускания и дребезга. Например, электромеханическое реле OJ-SH-105LM,000 со временем срабатывания (operate time) 15 мс и временем отпускания 4 мс.

1.2. Проблема обычных перепадов напряжения электросети сегодня особенно актуальна, поскольку в многоквартирных домах высок износ проводки (изоляция), не согласуется подключение различных по мощности потребителей, присутствует действие электромагнитных излучений от разных антенн и модулей, что может создавать так называемые «падения», «скачки» и помехи напряжения.

1.2.1. Для минимизации влияния помех используются *сетевые фильтры*, состоящие из фильтрующей электроники и нескольких розеток. Например, используется *варистор* для защиты от аperiодических и импульсных помех. Однако, варисторы могут за несколько мкс абсорбировать большое количество энергии, они не могут продолжительно находиться в проводящем состоянии, поскольку начинают греться, что может закончиться возгоранием. Для защиты от этого необходимы *термисторы*. Варистор со термистором защищен от перегрева, что продлевает его срок службы и защищает устройство от возможного возгорания.



Максимальное время отпускания до повреждения менее 20 мс для различных материалов, изоляции и сечений

1.2.2. По мнению авторов статьи [5] в настоящее время возрастает угроза воздействия по сети электропитания *сверхкоротких импульсов* (СКИ). В работе утверждается, что традиционные защитные компоненты (LC-фильтры, варисторы, TVS-диоды), а, следовательно, и защитные устройства на их основе (сетевые фильтры, источники бесперебойного питания и др.) не обеспечивают защиту от СКИ, поскольку длительность их воздействия крайне мала – от 0,2 нс до 12 нс с пиковым электрическим полем с напряженностью 100 В/м. Действительно, если среднее время срабатывания варистора (перехода в высокоомное состояние) для бытовой сети 10 нс, то образуется временное окно, когда есть риски поражения бытовой техники и самой «умной» розетки. На данный момент известны только промышленные устройства для защиты от СКИ, имеющие крупные габариты и высокую стоимость. Ученые [6] в 2014 году предложили решение данной проблемы посредством создания фильтра подавления СКИ на основе печатного модального фильтра. Принцип его работы заключается в делении одного импульса на два (четыре, шесть, восемь – в зависимости от требований) импульса, амплитуда каждого будет гораздо ниже, следовательно, каждый из них уже не сможет нанести серьезный урон.

1.2.3. Высокочастотные помехи, вызванные подключением мощных потребителей (например, двигатель) устраняются с помощью катушек индуктивности и конденсаторов.

1.3. Необходимо предусматривать защиту от перегрева, вызванного плохим контактом или неправильно подобранным напряжением нагрузки. Поэтому в сетевом фильтре требуется дополнительная защита по линиям: *отдельный переключатель и предохранитель* для каждой.

1.4. Также необходимо предусмотреть вариант, когда непосредственно в корпусе розетки или сетевого фильтра происходило задымление, как знак начальной стадии возгорания. Над этим вопросом задумался изобретатель Майкл Дайуб [7]. Он использовал *детектор дыма*, встроенный в корпус сетевого фильтра из 4 розеток. Наличие дыма определялось путем обнаружения рассеянного света от мелких частиц дыма или других аэрозолей. Если фиксировалось наличие дыма, то сигнал поступал на управляющее реле и цепь замыкалась.

## 2. Поражение электрическим током

Наиболее распространенными мерами безопасности от поражения электрическим током является 1) добавление *третьего штыря* (заземления), который снижает риск поражения электрическим током и защищает оборудование от повреждения, 2) заключение в *устойчивую к взлому розетку*, которая предотвращает вставку предметов, 3) *розетки питания* (AFCI, прерыватели дуговых замыканий), которые снижают риск поражения электрическим током путем прерыва-

ния питания при возникновении дуговых замыканий в цепи, 4) *розетки GFCI* [8] (устройство защитного отключения), которые отключают электроэнергию при обнаружении дисбаланса между исходящим и входящим током.

Авторы статьи [4] предлагают систему, которая предотвращает поражение электрическим током по следующему принципу: если к розетке не подключено устройство, электричество не подается. Во-первых, необходимо идентифицировать, когда прибор подключен к розетке. Большинство механизмов идентификации полагаются на механические, неавтоматизированные системы, например, нажатие кнопки. В статье предлагается использовать *RFID*, где считыватель RFID встроен в розетку, а метки RFID прикреплены к электрическому разъему устройства или к его шнуру. Следовательно, электричество подается только в том случае, если к устройству прикреплена действующая метка RFID и, если его разъем/шнур находится очень близко к «умной розетке» (несколько см).

## Заключение

Таким образом, при разработке «умных» розеток помимо различных функций направленных на расширение функциональных возможностей, следует уделить особое внимание обеспечению безопасности человека, применяя современные схемотехнические решения. Так, авторам статьи в сборнике [9], которые предложили схему «умного сетевого фильтра» на основе модуля ESP8266, следует обратить внимание на уязвимость механической системы защиты с виде варистора и плавкого предохранителя от СКИ, заменить электромагнитное реле на более «быстрое», добавить датчик дыма в корпус устройства, а также провести исследование тепловых характеристик элементов при различных нагрузках, что может подтвердить необходимость термодатчика внутри корпуса, чтобы усилить скорость предотвращения возгорания внутри самого устройства.

## Список литературы

1. Sehgal V.K. et al. Smart human security framework using internet of things, cloud and fog computing. Intelligent distributed computing. Springer, Cham, 2015. P. 251-263.
2. Hall J.R. Home electrical fires. Quincy, MA: National Fire Protection Association. 2013.
3. Chou J., Lee Y.L. Energy saving outlet having a sensor and method of use there of: пат. 7520783 США. 2009.
4. Fernández-Caramés T.M. An intelligent power outlet system for the smart home of the Internet of Things. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2015. Т. 11. № 11.
5. Genender E., Garbe H. Probabilistic Risk Analysis Technique of Intentional Electromagnetic Interference at System Level. IEEE Trans.on Electromagn.Compat, 2014. P. 200-207.
6. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M. New approach to the power network protection against ultrawide band pulses Dimensions 500. 2500, 2014.
7. Dayoub M. Power strip with smoke detection auto-shutoff: пат. 7154402 США. 2006.
8. King G.N. Modular GFCI receptacle: пат. 6309248 США. 2001.
9. Пищанская М.И., Иванова В.С. Разработка «умного сетевого фильтра» для мониторинга и управления потребляемым электричеством // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов в 9 ч. Часть 4. Новосибирск: НГТУ, 2019. С. 68-71.