

УДК 614.849

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ И КАБЕЛЬНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ НА УДЕЛЬНУЮ ПОЖАРНУЮ НАГРУЗКУ И
ПАРАМЕТРЫ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ЗДАНИЯХ**

Аксенов С.Г.

*д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Франчук С.Ю.

*студент,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г.Уфа*

Аннотация.

В статье анализируется эволюция пожарной нагрузки в зданиях XXI века под влиянием массового внедрения полимерных материалов и насыщения цифровой инфраструктурой. Также внимание уделено поведению композитных материалов (включая фасадные панели), горению кабельной продукции и рискам, связанным с литиевыми аккумуляторами в системах ИБП и потребительской электронике. На основе анализа численного моделирования (FDS) и натурных данных демонстрируется несоответствие упрощённых нормативных оценок реальным пожарным сценариям.

Ключевые слова: пожарная нагрузка, полимерные материалы, цифровая инфраструктура, динамика горения.

***INFLUENCE OF POLYMER COMPOSITES AND CABLE
INFRASTRUCTURE ON SPECIFIC FIRE LOAD AND FIRE
DEVELOPMENT PARAMETERS IN BUILDINGS***

Aksyonov S.G.

*Doctor of Economics, Professor,
Ufa University of Science and Technology,*

Russian Federation, Ufa

Franchuk S.Yu.

Student,

Ufa University of Science and Technology,

Russian Federation, Ufa

Annotation.

The article analyzes the evolution of fire load in buildings of the 21st century under the influence of the mass introduction of polymer materials and saturation with digital infrastructure. Attention is also paid to the behavior of composite materials (including facade panels), gorenje cable products and the risks associated with lithium batteries in UPS systems and consumer electronics. Based on the analysis of numerical modeling (FDS) and field data, the discrepancy between simplified regulatory estimates and real fire scenarios is demonstrated.

Keywords: fire load, polymer materials, digital infrastructure, gorenje dynamics.

Пожарная нагрузка — один из фундаментальных параметров, определяющих степень пожарной опасности здания и поведение огня в его помещениях. Традиционно она понимается как суммарная теплота сгорания всех горючих веществ и материалов, находящихся в здании или его отсеке, отнесённая к площади пола. Однако в условиях стремительной технологической эволюции и трансформации архитектурных решений за последние три десятилетия состав и характер пожарной нагрузки претерпели радикальные изменения. Современные интерьеры насыщены полимерными композитами, электроникой, системами «умного дома», кабельными трассами и энергоёмкими устройствами, что привело не только к значительному увеличению удельной теплотворной способности помещений, но и к качественному изменению динамики горения. В то время как нормативные документы, включая своды правил, продолжают использовать

усреднённые, часто устаревшие значения пожарной нагрузки, основанные на данных середины XX века, реальные пожары демонстрируют аномально высокую скорость развития, токсичность дыма и устойчивость к тушению. Эта статья посвящена системному анализу того, как полимерные материалы и цифровая инфраструктура формируют новую парадигму пожарной нагрузки, почему это ставит под угрозу эффективность традиционных систем противопожарной защиты и какие меры необходимы для адаптации нормативной и инженерной практики к вызовам современности.

Исторически пожарная нагрузка в жилых и общественных зданиях состояла из относительно предсказуемых компонентов: деревянная мебель, хлопковые и шерстяные ткани, книги, обои, паркет. Теплота сгорания таких материалов колеблется в узком диапазоне — от 16 до 20 МДж/кг. Соответственно, расчётные модели, заложенные в нормативы, были построены на предположении, что развитие пожара происходит по относительно медленному сценарию: от локального возгорания к постепенному охвату помещения, с временем до наступления стадии вспышки (flashover) в 15–20 минут. [3] Однако с 1990-х годов началась массовая замена природных материалов синтетическими. Пластик стал повсеместным: от оконных рам и напольных покрытий до корпусов бытовой техники и элементов отделки. Теплотворная способность многих полимеров в 1,5–2,5 раза выше, чем у древесины. Полиэтилен — 46 МДж/кг, полипропилен — 45 МДж/кг, пенополиуретан — до 24 МДж/кг, но при этом он горит с интенсивным выделением дыма. [1] Уже одно это обстоятельство приводит к тому, что удельная пожарная нагрузка в современной квартире может превышать 1500–2000 МДж/м², тогда как нормативные значения для жилых помещений редко превышают 600–800 МДж/м².

Но гораздо более серьёзную проблему представляет не просто энергоёмкость полимеров, а их поведение при горении. В отличие от древесины, которая обугливается и формирует защитный слой, замедляющий дальнейшее горение, большинство термопластов плавятся, стекают, разбрызгиваются и переносят пламя на соседние поверхности. Это приводит к ускоренному горизонтальному распространению огня и затрудняет локализацию очага. [4] Кроме того, при термическом разложении полимеры выделяют сложные газовые смеси, включающие оксид углерода, цианистый водород, хлороводород, фосген и другие высокотоксичные соединения.

Например, горение полиуретана, широко используемого в мебельной промышленности, выделяет цианистый водород в концентрациях, смертельных уже через 2–3 вдоха. Это делает дым не просто препятствием для видимости, а непосредственной причиной гибели людей — зачастую задолго до наступления теплового поражения.

Особую угрозу представляют композитные материалы, сочетающие горючие и негорючие компоненты. Алюминиевые композитные панели (АКП) с полиэтиленовым или минеральным сердечником — яркий пример. При пожаре внешний алюминиевый слой плавится при температуре около 660 °С, но сердечник из полиэтилена начинает разлагаться уже при 200–300 °С, выделяя горючие газы и расплав, который стекает по фасаду, увлекая за собой пламя. [2]

Цифровая инфраструктура — второй ключевой фактор, радикально изменивший пожарную нагрузку. Современное здание, будь то офис, торговый центр или жилой дом, пронизано кабельными сетями: силовыми, слаботочными, оптоволоконными. Изоляция большинства кабелей выполнена из поливинилхлорида или полиэтилена — материалов с высокой теплотой сгорания и токсичностью дыма. При этом кабельные лотки часто проходят через всё здание без надлежащей противопожарной герметизации проходов через перекрытия и стены. [5] В результате даже небольшое возгорание в одном помещении может привести к распространению пламени по всей кабельной трассе, минуя противопожарные преграды. Это превращает систему коммуникаций в скрытую «магистраль огня», которую крайне сложно обнаружить и локализовать на ранней стадии.

Ещё более опасной является концентрация цифрового оборудования в ограниченных пространствах — серверных, ИТ-стойках, диспетчерских. Серверы, маршрутизаторы, системы бесперебойного питания (ИБП), блоки аккумуляторов содержат не только пластиковые корпуса, но и литиевые или свинцово-кислые батареи, печатные платы с эпоксидными смолами, теплоотводы с термопастами на углеводородной основе. Совокупная пожарная нагрузка в серверной может превышать 3000 МДж/м² — это в 4–5 раз больше, чем предполагает норматив для промышленных помещений. [3] При этом возгорание литий-ионных аккумуляторов, используемых в ИБП и ноутбуках, сопровождается явлением термического разгона: цепной реакцией, при которой один перегревшийся элемент вызывает

воспламенение соседних с выделением огромного количества тепла и токсичных газов, включая фтористый водород. Такой пожар практически не поддаётся тушению водой или порошковыми составами и требует специализированных средств.

Стоит также учитывать, что цифровая инфраструктура часто размещается в зонах, не предназначенных изначально для таких нагрузок: под фальшполами, за подвесными потолками, в технических коридорах. Эти пространства редко оборудуются дымовыми извещателями или системами пожаротушения, что создаёт «слепые зоны» для раннего обнаружения. [1] Более того, при горении кабелей в замкнутом пространстве создаётся эффект «дымовой бомбы»: давление нарастает, и при первом же открытии двери или люка происходит взрывоподобный выброс дыма и пламени в смежное помещение.

Архитектурные тренды усугубляют проблему. Открытые пространства, студийная планировка, стеклянные перегородки, высокие атриумы — всё это устраняет естественные барьеры, замедлившие распространение огня в традиционных зданиях. Современная архитектура стремится к максимальной «лёгкости» и прозрачности, но с пожарной точки зрения это означает отсутствие компартментации. [4] В таких условиях высокая пожарная нагрузка мгновенно реализуется в объёмный пожар. Время до вспышки сокращается до 3–5 минут — как показывают натурные испытания и моделирование в FDS. Это делает практически бесполезными даже хорошо спроектированные системы эвакуации, рассчитанные на 10–15-минутное окно для покидания здания.

Нормативная база, к сожалению, не поспевает за данными изменениями. Например, для офисных помещений указывается диапазон 400–600 МДж/м², тогда как реальное значение в современном офисе с насыщенной техникой, полимерной мебелью и кабельными лотками легко достигает 1200–1800 МДж/м². [2] Расчёты времени свободного развития пожара, необходимые для проектирования систем дымоудаления, спринклеров и эвакуационных путей, строятся на этих заниженных цифрах, что приводит к системной недооценке рисков.

Моделирование в программных комплексах, таких как Fire Dynamics Simulator (FDS), демонстрирует критическую разницу. При использовании

нормативной нагрузки $600 \text{ МДж}/\text{м}^2$ температура в помещении достигает 600°C (условного порога вспышки) через 9–10 минут. При реалистичной нагрузке $1800 \text{ МДж}/\text{м}^2$ — уже через 3,5–4 минуты. [5] Эта разница не просто количественная — она качественная: она означает, что люди оказываются в ловушке до того, как сработают автоматические системы или до того, как услышат сигнал тревоги.

Выход из этой ситуации требует перехода от предписывающего подхода к основанному на результатах в проектировании. Это означает, что пожарная нагрузка должна определяться не по таблицам, а по инвентаризации реальных материалов с учётом их химического состава, распределения по площади и взаимодействия. Такой подход уже применяется в ряде западных стран и в отдельных российских проектах (например, в объектах транспортной инфраструктуры). [3] Он предполагает использование данных по теплоте сгорания, скорости выделения тепла (HRR), дымообразованию и токсичности для каждого значимого компонента интерьера.

Также необходимы изменения в нормативной практике: введение обязательных требований к негорючести кабельной продукции, ограничение применения горючих композитов в фасадах, обязательная герметизация проходов кабельных трасс огнестойкими составами, а также использование в серверных и ИТ-помещениях газовых или аэрозольных систем пожаротушения, эффективных против твёрдых материалов и электроники. [6]

Не менее важна и просветительская работа: заказчики, архитекторы и эксплуатирующие организации должны осознавать, что «современный дизайн» часто означает «повышенный пожарный риск». Выбор мебели, отделки, техники — всё это влияет на безопасность. Даже установка умной колонки или зарядной станции для гаджетов добавляет несколько килограммов полимеров и лития в комнату.

Наконец, следует развивать методики прогнозирования поведения пожара с учётом реальной нагрузки. Это включает не только численное моделирование, но и натурные испытания с использованием типовых современных интерьеров. Только так можно получить достоверные данные для обновления нормативов и повышения надёжности систем защиты.

Таким образом пожарная нагрузка в XXI веке — это новый тип угрозы, обусловленный химией полимеров, физикой литиевых аккумуляторов и топологией цифровых сетей. Игнорирование этих факторов ведёт к созданию иллюзии безопасности при реальном росте смертельного риска. Только системный, междисциплинарный подход — объединяющий материаловедение, пожарную науку, архитектуру и цифровые технологии — позволит адекватно оценивать и контролировать динамику современных пожаров, делая здания не только красивыми и умными, но и по-настоящему безопасными.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Муртазин Д.А. Технология пожаротушения тонкораспыленной водой // Журнал прикладных исследований. 2024. № 10. С. 81-86.
2. Аксенов С.Г., Вагапова А.М., Синагатуллин Ф.К. Анализ и оценка пожарной опасности объекта хранения нефтепродуктов // Экономика строительства. 2023. № 5. С. 52-55.
3. Аксенов С.Г., Ирниченко О.А. Обеспечения пожарной безопасности нефтяных и газовых скважин // Экономика строительства. 2023. № 7. С. 41-45.
4. Кузнецов Г. В., СтрижакП. А. Численное решение задачи воспламенения жидкого пожароопасного вещества одиночной "горячей" частицей // Физика горения и взрыва. — 2009. — Т. 45, № 5. — С. 42-50.
5. Глушков Д. О., Жданова А. О., СтрижакП. А. Математическое моделирование зажигания геле-образного конденсированного вещества одиночными разогретыми металлическими и неметаллическими частицами // Бутлеровские сообщения. — 2013. — Т. 34, № 5. — С. 22-33.
6. Халтуринский Н. А., Попова Т. В., Берлин А. А. Горение полимеров и механизм действия антиприренов // Успехи химии. — 1984. — Т. 53, № 2. — С. 326-346.

Оригинальность 77%