Сравнительное тестирование автоматических выключателей на 6 А с характеристикой «С» | Часть 1

Часть 1: анализ тепловых и электромагнитных характеристик

1. Введение

Автоматические выключатели (АВ) — это основа безопасности любой электроустановки: от квартирного щитка до высоконагруженных стоек ЦОД. Их корректная работа защищает оборудование от повреждений, а людей — от рисков, связанных с перегрузкой и коротким замыканием.

Настоящее тестирование представляет интерес для широкого круга лиц, чья деятельность связана с выбором, проектированием или эксплуатацией низковольтных сетей:

- Для собственников жилья и мастеров, планирующих ремонт или замену электрощита — это наглядный пример того, почему «автоматы» с одинаковой маркировкой могут вести себя по-разному, и как этот разброс влияет на долговременную надежность домашней сети.
- Для инженеров-проектировщиков и монтажников — это практический сравнительный анализ, позволяющий принимать более обоснованные решения при подборе компонентов для коммерческих, промышленных объектов или телекоммуникационных шкафов, где важны температурные режимы и селективность защиты.
- Для высококвалифицированных инженеров, обслуживающих ЦОДы и ответственные системы — это демонстрация важности контроля входного качества даже стандартных компонентов, а также методология внутренней проверки, которую можно адаптировать под свои нужды.

Изначальной задачей, инициировавшей это тестирование, была необходимость выбора оптимальных компонентов для климатических шкафов собственного производства, используемых в крупных проектах. В процессе мы столкнулись с вопросом: насколько предсказуемо поведение АВ разных брендов в рамках одного стандарта? Полученные результаты и методика анализа оказались полезными и релевантными для всех перечисленных выше аудиторий.

Автоматические выключатели отличаются:

- Номинальной токовой уставкой, на которую они рассчитаны (в нашем тестировании используются АВ на 6А).
- Характеристикой срабатывания электромагнитного расцепителя. Она определяет, при какой кратности тока короткого замыкания произойдет отключение. Наибольшее распространение получили АВ с характеристиками:
  - B (превышение номинального тока в 3–5 раз);
  - C (превышение номинального тока в 5–10 раз);
  - D (превышение номинального тока в 10–20 раз).

Основное распространение имеют автоматические выключатели с характеристикой электромагнитного расцепителя «С», которые обеспечивают основную потребность.

Важное пояснение о характере проведённой работы

Данный отчёт представляет собой результаты внутреннего сравнительного тестирования, выполненного в рамках инициативы по углублению экспертизы в области применяемых электротехнических компонентов.

Важно отметить:

1. Работа **не является официальными сертификационными или приёмочными испытаниями** в соответствии с ГОСТ Р 50345-2010.
2. Тестирование проводилось на неповеренном серийном измерительном оборудовании в условиях, моделирующих нормальную эксплуатацию. Абсолютные значения измерений могут содержать инструментальную погрешность.
3. Методика имела упрощения (например, последовательное подключение образцов), что могло повлиять на тепловой режим и точность фиксации времени отключения.

Цель работы: выявить разброс эксплуатационных характеристик (температурный режим, время срабатывания) у различных моделей АВ, формально соответствующих одному стандарту, и выделить образцы, требующие повышенного внимания при выборе для ответственных применений. Задача — не вынесение окончательного вердикта о соответствии, а формирование инженерно-обоснованных

гипотез для дальнейшего анализа.

2. Методология и условия тестирования

- Условия окружающей среды: температура воздуха +23±2°C.
- Расстояние между АВ: 50 мм.
- Корректировка тока: для приведения к стандартным условиям (+30°C) использован температурный коэффициент Kt = 1,03. Скорректированный номинальный ток: Iном.корр = 6 А × 1,03 = 6,18 А.

Оборудование:

- Тепловизор UNI-T UTi260B (фиксация температуры корпуса).
- Устройство для проверки электромагнитного расцепителя АВ «Сатурн-М».
- Клещи токоизмерительные CEM DT-3367.
- Нагрузочный стенд резистивный 10 кВт.
- Ювелирные весы.

Для всех отобранных автоматических выключателей оптимальной является температура эксплуатации +30°C. При нашей температуре +23°C необходимо ввести поправочный коэффициент. Расчёт тока нагрузки скорректированного производится по формуле:

$I_{ном.корр} = I_{ном} \cdot Kt$,

где Kt — температурный коэффициент. Определяется по графику зависимости номинального тока от температуры среды (графики приведены в документации производителей: IEK, EKF, Legrand и т.д.). Согласно графикам, Kt = 1,03. Корректировка номинального тока выполнена по формуле: Iном.корр = 6 А × 1,03 = 6,18 А.

3. Порядок тестирования

1. **Измерение массы АВ**.
2. **Тепловой расцепитель, этап 1:** подача тока 1,13 × Iном.корр (6,99 А) в течение 60 минут (условное время нерасцепления). Фиксация температуры каждые 10 минут.
3. **Тепловой расцепитель, этап 2:** без перерыва плавное увеличение тока до 1,4 × Iном.корр (8,65 А) и фиксация времени до срабатывания.
   Примечание: В ГОСТ Р 50345-2010 указано значение 1,45. В данном тесте использовано 1,4.
4. **Электромагнитный расцепитель:** на холодных образцах определение минимального тока отключения в диапазоне (5–10) × Iном.корр (30,9 – 61,8 А).

4. Результаты и анализ

4.1. Сводные данные

Для удобства анализа ключевые результаты сведены в Таблицу 1. Полные данные по температуре представлены в Приложении А.

№	Производитель	Модель	Масса, г	T_max при 1,13·Iном, °C	Время сраб. при 1,4·Iном, мин	Ток сраб. э/м, А	Примечание
1	Schneider Electric	Easy 9	193,82	39,2	41,0	56,0	Наименьший нагрев, стабильные параметры
2	Systeme Electric	Systeme9	116,89	50,2	>60	38,5	Превышено время теплового срабатывания
3	Systeme Electric	City9 6kA	97,85	53,8	45,0	50,5	Высокий нагрев
4	Systeme Electric	City9 4.5kA	98,00	49,1	4,0	51,5	Аномально малое время срабатывания
5	Systeme Electric	Dekraft	82,82	49,0	36,0	55,5	---
6	Legrand	RX3	99,87	41,5	43,0	51,0	Низкий нагрев, стабильные параметры
7	IEK	Armat	114,47	43,3	29,0	39,0	Низкий нагрев, порог э/м у нижней границы
8	IEK	BA47-60M	107,58	47,5	36,0	27,5	**Отклонение: ток сраб. э/м расц. ниже нормы**
9	IEK	BA47-29 C6	95,43	54,3	55,0	42,0	Высокий нагрев
10	IEK	Generica	81,12	49,5	40,0	53,0	---
11	EKF	Averes	111,62	54,5	38,0	55,0	Высокий нагрев
12	DKC	Yon MD63N (Китай)	92,22	45,2	47,0	39,0	Порог э/м у нижней границы
13	DKC	Yon MD63-1C6 (Россия)	104,18	46,1	**0,33**	40,0	**Отклонение: аномально малое время тепл. срабатывания**
14	ABB	S201 C6	114,04	70,0	>60	51,0	Превышено время теплового срабатывания, высокий нагрев

4.2. Графический анализ ключевых параметров

Рисунок 1. Динамика нагрева корпуса при токе 1,13·Iном (выборка моделей)

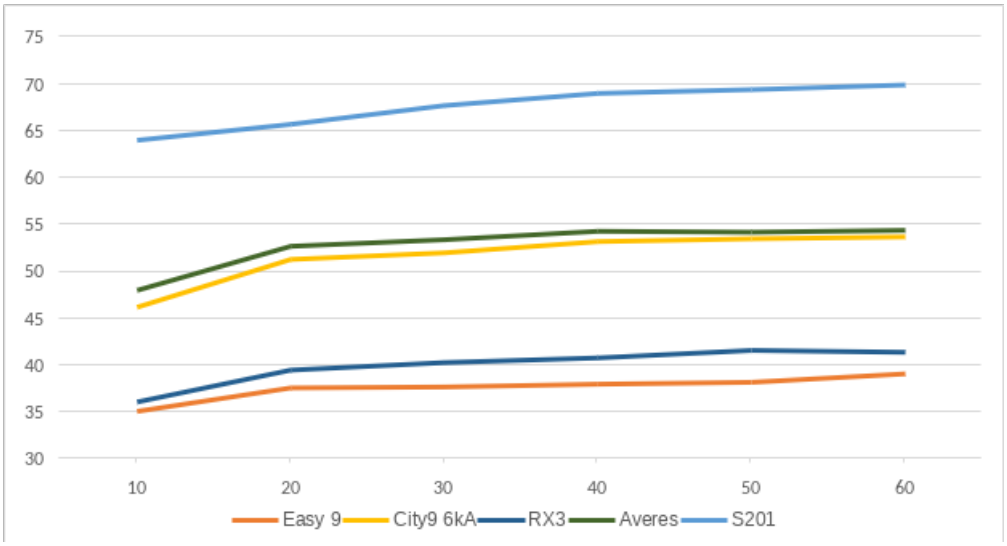
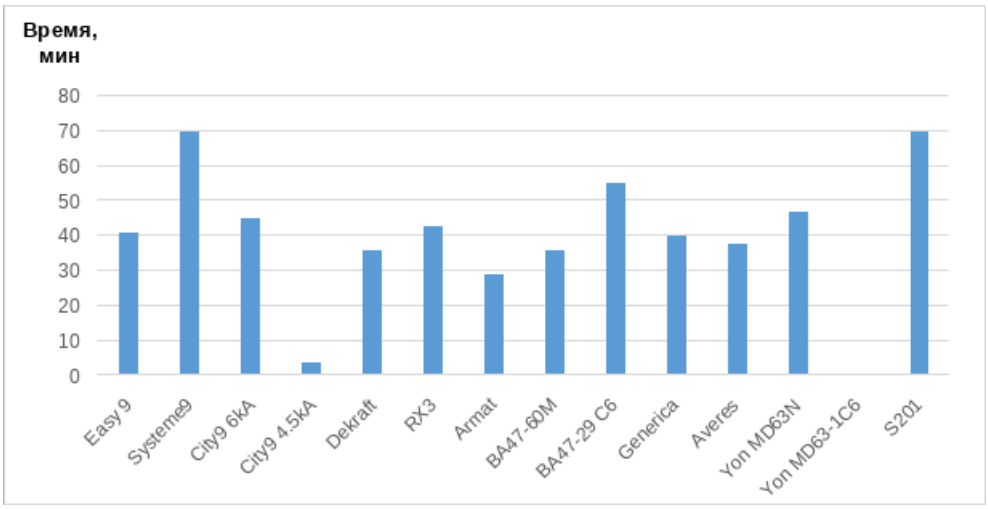


График подтверждает сильный разброс установившейся температуры: модели Easy 9 и S201 отличаются на ~31°C при одинаковой нагрузке. Все образцы выдержали часовую нагрузку без срабатывания. Максимальная температура корпуса варьировалась от 39,2°C (Easy 9) до 70,0°C (S201). Наименьший нагрев отмечен у моделей Easy 9, RX3 и Armat. Зависимость температуры от времени носит экспоненциальный характер с выходом на установившийся режим после 30–40 минут.

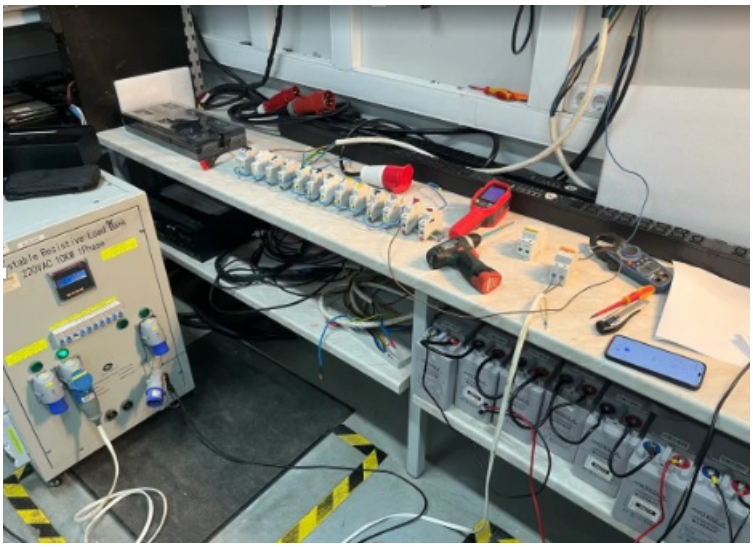
Здесь можно посмотреть на видеоролик процесса.

Рисунок 2. Время срабатывания при токе 1,4·Iном



Гистограмма визуализирует два аномальных результата: гиперчувствительность Yon MD63-1C6 и «вялое» срабатывание Systeme9, S201.

Рисунок 3. Процесс тестирования теплового расцепителя АВ



Посмотреть видео процесса.

4.3. Анализ выявленных отклонений

1. **Тепловая защита:** Yon MD63-1C6 сработал через ~20 секунд после увеличения тока до 1,4·Iном, что на порядок меньше ожидаемого времени (норма от 1 до 60 минут). Это может указывать на неверную калибровку биметаллической пластины или дефект в механизме.
2. **Тепловая защита:** City9 4,5kA имеет аномально малое время срабатывания (4 мин), что может указывать на смещение тепловой характеристики, возможно, в рамках допустимого разброса, но требующее проверки на селективность.
3. **Электромагнитная защита:** Образец BA47-60M сработал при токе 27,5 А, что ниже минимального порога для характеристики «C» (30,9 А). Такое поведение повышает риск ложных срабатываний при пусковых токах некритичной нагрузки.
   Посмотреть видеоролик.
4. **Пограничные значения:** Ряд моделей (Systeme9, Armat, Yon MD63N) имеют порог срабатывания электромагнитного расцепителя вблизи нижней границы диапазона (38–39 А). При проектировании сетей с оборудованием, имеющим высокие пусковые токи, это требует дополнительного запаса.

5. Обсуждение и практические выводы

1. Масса и тепловой режим: Наблюдается корреляция между массой АВ и его конечной температурой при длительной нагрузке. Однако масса не является абсолютным критерием, так как на тепловой баланс также влияет конструкция дугогасительной камеры, материал контактов и внутренняя компоновка.

2. Разброс характеристик: Даже в рамках одного ценового сегмента наблюдается значительный разброс по ключевым параметрам. Разница в температуре нагрева на 15°C под одной и той же нагрузкой свидетельствует о различном качестве применяемых материалов и уровне технологического контроля.

3. Рекомендации по выбору:

- Для цепей с длительной нагрузкой, близкой к номинальной (например, освещение, розеточные группы), предпочтительны модели с более низким нагревом корпуса (Easy 9, RX3, Armat). Это снижает тепловую нагрузку на проводку и смежные компоненты в шкафу.
- Для защиты цепей с оборудованием, имеющим высокие пусковые токи, следует выбирать АВ с порогом срабатывания электромагнитного расцепителя в верхней части диапазона (50–60 А), такие как Easy 9, Dekraft, Averes.
- Образцы, показавшие значительные отклонения (Yon MD63-1C6, ВА47-60М), требуют особого внимания. Рекомендуется их выборочная проверка при закупке или проведение дополнительных тестов в аккредитованной лаборатории для подтверждения соответствия ГОСТ.
- Критерий «цена-качество»: На основании полученных данных, модели Legrand RX3 и Schneider Easy 9 демонстрируют оптимальное сочетание стабильных характеристик, умеренного нагрева и разумной стоимости (см. Таблицу 2, Приложение А). Для менее критичных применений с запасом по току могут рассматриваться модели Dekraft или Generica, показавшие приемлемые результаты при значительно более низкой цене.

4. Аномалии и причины:

- **Yon MD63-1C6 (сработал за 20 сек при 1,4·Iном):** Крайне вероятно, что калибровочный винт отрегулирован с сильным избыточным предварительным натягом, что делает расцепитель гиперчувствительным. Биметаллу требуется минимальный нагрев, чтобы преодолеть зазор и отключить автомат.
- **Systeme9, S201 (не отключились за 60 мин при 1,4·Iном):** Обратная ситуация — недостаточный натяг или чрезмерный зазор. Биметалл изгибается, но этого усилия не хватает для срабатывания защёлки в нормативное время.
- **ВА47-60М (низкий порог э/м расцепителя):** Скорее всего, проблема связана с калибровкой соленоида (подгибкой пружины или изменением воздушного зазора).

6. Заключение

Проведённое сравнительное тестирование наглядно демонстрирует, что автоматические выключатели, формально соответствующие одному стандарту, могут существенно различаться по своим фактическим эксплуатационным характеристикам. Особенно важен этот разброс для применений, где критичны тепловые режимы или вероятность ложных срабатываний.

Окончательные выводы о соответствии конкретного изделия ГОСТ могут быть сделаны только по результатам испытаний в аккредитованной электролаборатории. Данная же работа служит практическим инструментом для формирования инженерной экспертизы, обоснованного выбора компонентов и определения направлений для более углублённого контроля качества.

Приложение А. Полные данные измерений массы, температуры и времени срабатывания

Таблица 2. Сравнительная таблица стоимости и массы

№	Производитель	Модель	Стоимость (ЭТМ), руб	Масса, г	Примечание
1	Schneider Electric	Easy 9	–	193,82	
2	Systeme Electric	Systeme9	752,13	116,89	
3	Systeme Electric	City9 6kA	540,59	97,85	
4	Systeme Electric	City9 4.5kA	450,50	98,00	
5	Systeme Electric	Dekraft	255,79	82,82	
6	Legrand	RX3	346,64	99,87	
7	IEK	Armat	632,65	114,47	
8	IEK	BA47-60M	276,53	107,58	
9	IEK	BA47-29 B6*	264,13	93,65	*В тестах не участвовал
10	IEK	BA47-29 C6	229,53	95,43	
11	IEK	BA47-29 D6*	342,57	92,73	*В тестах не участвовал
12	IEK	Generica	153,39	81,12	
13	EKF	Averes	643,29	111,62	
14	DKC	Yon MD63N (Китай)	424,32	92,22	Китай
15	DKC	Yon MD63-1C6 (Россия)	413,44	104,18	Россия
16	ABB	S201 C6	–	114,04	

Рисунок 4. Процесс измерения массы АВ



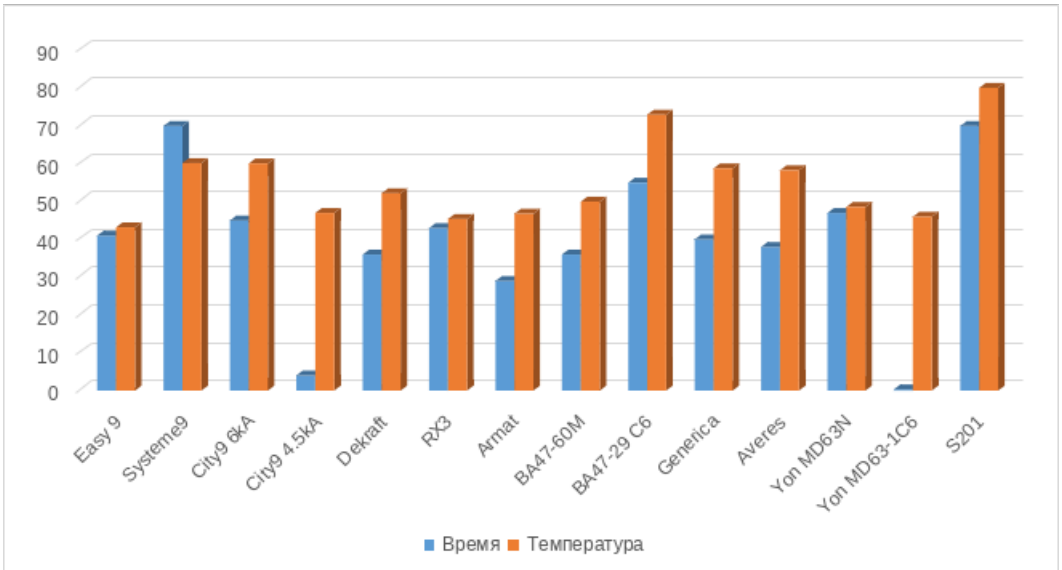
Таблица 3. Температура АВ при токе 1,13·Iном

№	Производитель	Модель	10 мин	20 мин	30 мин	40 мин	50 мин	60 мин
1	Schneider Electric	Easy 9	35,2	37,7	37,8	38,1	38,3	39,2
2	Systeme Electric	Systeme9	41,4	46,6	47,7	49,0	49,1	50,2
3	Systeme Electric	City9 6kA	46,3	51,4	52,1	53,3	53,6	53,8
4	Systeme Electric	City9 4.5kA	40,7	46,8	47,9	48,5	48,8	49,1
5	Systeme Electric	Dekraft	42,5	46,7	47,3	48,3	48,7	49,0
6	Legrand	RX3	36,2	39,6	40,4	40,9	41,7	41,5
7	IEK	Armat	38,2	41,7	41,4	43,0	42,5	43,3
8	IEK	BA47-60M	40,3	45,0	46,0	47,0	47,0	47,5
9	IEK	BA47-29 C6	48,4	52,5	53,0	54,2	53,4	54,3
10	IEK	Generica	44,3	47,6	48,6	49,5	48,9	49,5
11	EKF	Averes	48,1	52,8	53,5	54,4	54,3	54,5
12	DKC	Yon MD63N (Китай)	38,3	42,8	43,7	44,7	44,5	45,2
13	DKC	Yon MD63-1C6 (Россия)	39,0	43,3	44,2	45,7	45,5	46,1
14	ABB	S201 C6	64,1	65,8	67,8	69,1	69,5	70,0

Таблица 4. Время срабатывания АВ при токе 1,4·Iном

№	Производитель	Модель	Время срабатывания, мин	Температура, °C	Комментарий
1	Schneider Electric	Easy 9	41	43,2	
2	Systeme Electric	Systeme9	>60	60,2	
3	Systeme Electric	City9 6kA	45	60,1	
4	Systeme Electric	City9 4.5kA	4	47,0	
5	Systeme Electric	Dekraft	36	52,2	
6	Legrand	RX3	43	45,4	
7	IEK	Armat	29	46,8	
8	IEK	BA47-60M	36	50,0	
9	IEK	BA47-29 C6	55	73,0	
10	IEK	Generica	40	58,8	
11	EKF	Averes	38	58,3	
12	DKC	Yon MD63N	47	48,6	Китай
13	DKC	Yon MD63-1C6	0,33	46,0	Россия
14	ABB	S201 C6	>60	80,1	

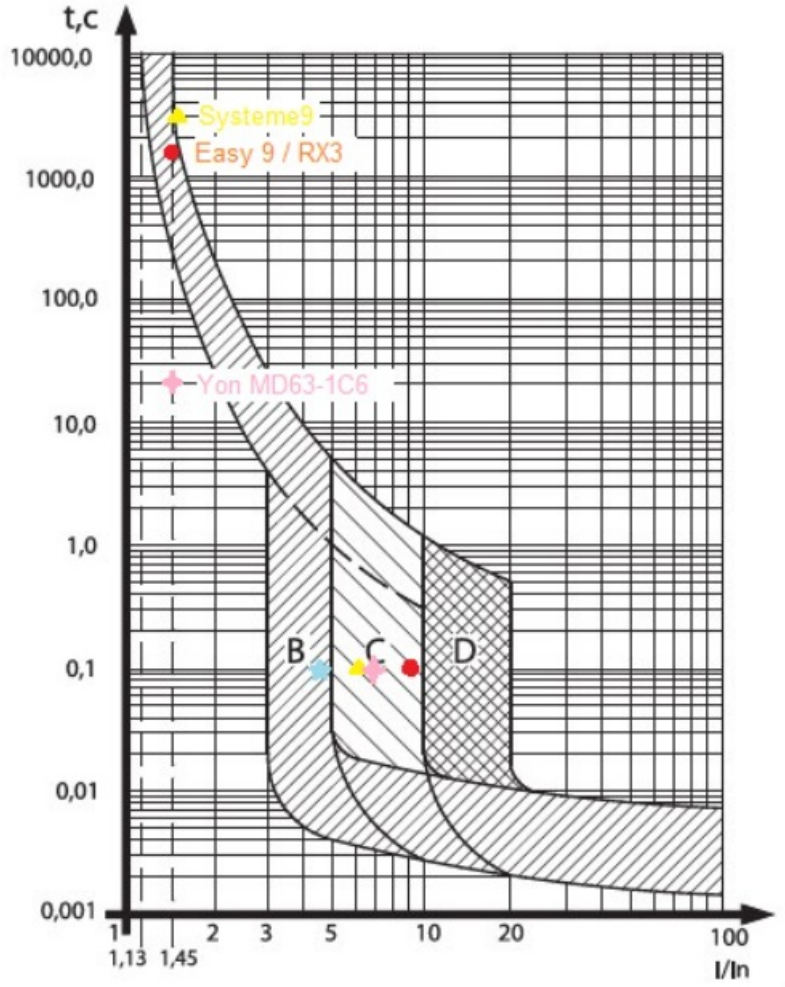
Рисунок 5. Время срабатывания и температура АВ при токе 1,4·Iном



Приложение Б. Схематичное сравнение времятоковых характеристик (ВТХ) на основе данных тестирования

На основе полученных экспериментальных данных построена схематическая диаграмма, иллюстрирующая разброс времятоковых характеристик тестируемых автоматических выключателей относительно «идеальной» кривой для характеристики «С» согласно ГОСТ Р 50345-2010.

Рисунок 6. Сравнение время-токовых характеристик АВ



Описание графика:

Оси графика:

- Ось X (горизонтальная): Ток, выраженный в кратности к номинальному току (I/Iном). Логарифмический масштаб. Диапазон: от 1 до 20.
- Ось Y (вертикальная): Время срабатывания, секунды. Логарифмический масштаб. Диапазон: от 0,01 с до 10 000 с (≈2,78 часа).

Ключевые зоны и линии:

1. **«Идеальная» ВТХ** (ГОСТ, х-ка «С»): Пунктирная линия, обозначающая ожидаемые границы срабатывания для АВ.
2. **Область теплового расцепителя (наклонная часть):** Проходит между точками ~1,13·Iном (3600 с) и ~5·Iном (0,1–10 с).
3. **Область электромагнитного расцепителя (вертикальная часть):** Резкий обрыв вниз в диапазоне 5–10·Iном.
4. **Зона нерасцепления:** Область выше и левее линии ВТХ, где автомат не должен срабатывать.
5. **Зона гарантированного расцепления:** Область ниже и правее линии ВТХ.

*Внимание: Настоящая диаграмма является **схематичной интерпретацией** и построена на основе двух экспериментальных точек для теплового расцепителя (1,13·Iном и 1,4·Iном) и одной точки для электромагнитного. Она служит для **визуального сравнения характера отклонений**, а не для точного построения полной время-токовой характеристики (ВТХ), требующей снятия десятков точек на специализированном стенде.*

Нанесенные экспериментальные точки:

На график нанесены ключевые точки, полученные в ходе тестирования для трёх категорий моделей:

1. Стабильные модели:
Schneider Easy 9 / Legrand RX3 (красные маркеры):

- Точка А1 (тепловой расцепитель): При 1,4·Iном (8,65 А) время срабатывания составило 41–43 минуты (2460–2580 с). Точка расположена в верхней части зоны расцепления, близко к

«идеальной» кривой.
- Точка A2 (электромагнитный расцепитель): Срабатывание при ~9·Iном (56 А). Точка находится в верхней части диапазона 5–10·Iном.

2. Модели с отклонениями:
Systeme9, S201 (завышенная уставка, жёлтые маркеры):

- Точка B1 (тепловой расцепитель): При 1,4·Iном время срабатывания >60 минут (>3600 с). Точка находится ВЫШЕ линии зоны нерасцепления, что указывает на возможную нечувствительность к перегрузке.
- Точка B2 (электромагнитный расцепитель): Срабатывание при ~6,2·Iном (38,5 А). Точка у нижней границы диапазона.

Yon MD63-1C6 (заниженная уставка, розовые маркеры):

- Точка C1 (тепловой расцепитель): При 1,4·Iном время срабатывания 20 секунд. Точка расположена НИЖЕ и ЛЕВЕЕ «идеальной» кривой, в зоне гарантированного расцепления, но слишком близко к началу, что свидетельствует о гиперчувствительности.
- Точка C2 (электромагнитный расцепитель): Срабатывание при ~6,5·Iном (40 А). Точка у нижней границы диапазона.

3. Модель с отклонением по э/м расцепителю:
BA47-60M (голубой маркер):

- Точка D (электромагнитный расцепитель): Срабатывание при ~4,5·Iном (27,5 А). Точка находится ЛЕВЕЕ диапазона 5–10·Iном, в зоне, предназначенной для тепловой защиты. Это указывает на высокий риск ложных отключений при кратковременных пусковых токах.

Выводы по графику:

Схема наглядно демонстрирует:

1. **Существенный разброс характеристик:** Фактические точки срабатывания разных моделей значительно удалены друг от друга при одном и том же токе (1,4·Iном).
2. **Характер отклонений:** Можно четко идентифицировать, является ли отклонение следствием смещения тепловой кривой (как у Systeme9, S201 и Yon MD63-1C6) или смещения уставки электромагнитного расцепителя (как у BA47-60M).
3. **Практическую значимость:** Автоматы, чьи точки лежат вблизи «идеальной» кривой (стабильные модели), обеспечат более предсказуемую и селективную защиту. Модели с точками, выходящими за ожидаемые границы, могут привести к несвоевременному отключению (ложные срабатывания или, наоборот, отсутствие защиты).

Перспективы дальнейшей работы:

Анализ конструкции: вскрытие и сравнительный анализ внутренней конструкции (расположение элементов, измерение индуктивности катушки элетромагнитного расцепителя, строение дугогасящей камеры) образцов-лидеров и аутсайдеров.

Посмотреть видео.