

Кейс №2 — Гололёд на проводах ЛЭП

Разбор инженерного бюро «КБ Сдвиг» · 15.07.2026 · демонстрационный кейс (без заказчика)

Задача

Зимой на провода воздушных линий намерзает гололёд. Под весом льда провода провисают и рвутся, ломаются опоры, случаются массовые отключения. Плавка гололёда повышенным током энергозатратна и возможна не на всех линиях; механическое сбивание при обходах — медленно и опасно. Ограничения: линию надолго не отключать, провода по всей длине не менять. Цель: не давать гололёду нарастать или удалять его без отключения линии и ручной работы на высоте.

Где конфликт

Анализ выявил физическое противоречие в чистом виде: **провод должен быть горячим** — чтобы лёд не рос и таял, — **и не должен быть горячим** — потому что это его нормальный режим передачи, а длительный перегрев означает потери энергии и старение металла. Плавка «в лоб» (греть всю линию до 100 минут подряд) разрешает конфликт грубой силой — отсюда и её дороговизна.

Классическое разрешение такого противоречия — **разделить требования во времени и в пространстве**: греть не всегда, а точно в момент нараста; воздействовать не на всю линию, а на обледеневший участок; и вместо долгого тепла использовать короткий импульс. Все рекомендованные ходы ниже — формы этого разрешения.

Рекомендованные ходы

А. Мониторинг гололёда + адаптивная плавка — усилить то, что уже есть

Не отказываться от плавки, а сделать её зрячей: датчики тяжения провода (весовой метод) на гололёдоопасных участках сообщают о росте в реальном времени; плавка запускается рано, адресно и на минимально нужное время. Это документированная связка (распределённые системы мониторинга + адаптивное управление плавкой), дающая экономию именно там, где сейчас болит: меньше плавок «на всякий случай», меньше пропущенных нарывов. **Проверка**: один гололёдоопасный участок, комплект датчиков тяжения, сезон наблюдения; метрики — число и длительность плавок, аварийные события. **Риск**: датчики и связь в полевых условиях требуют обслуживания; окупаемость считать по статистике конкретного региона.

В. Импульсный электромеханический сброс — самый стабильный ход машинного поиска

Механизм с наибольшей повторяемостью в генерациях (5 из 7): не плавить лёд, а **стряхивать**. Промышленная форма этого хода — импульсы тока, вызывающие механические колебания провода вблизи резонанса: лёд хрупок, сцепление разрушается за секунды, энергии нужно на порядки меньше, чем на проплавление всей массы льда. Метод развивается в отрасли средствами силовой электроники — это ровно то «разделение во времени» из противоречия выше: провод «горячий» миллисекундами. **Проверка**: стендовые испытания на пролёте (импульсная установка, искусственное обледенение), замер энергии на километр против плавки. **Риск**: механические напряжения в проводе и арматуре — режим импульсов согласовать с усталостной прочностью;

электромагнитная совместимость.

С. Супергидрофобные покрытия критических участков

Не бороться со льдом, а не дать ему зацепиться: супергидрофобные покрытия для проводов разработаны и прошли испытания (аэрозоль при -5°C , ветер 10 м/с) — лёд либо не образуется, либо держится слабо и сбрасывается ветром/лёгкой вибрацией. По всей длине — дорого (и запрещено условием), но на **критических пролётах** (переходы через реки и дороги, узкие гололёдные микрорайоны) — разумный пилот. Хорошо стыкуется с В: покрытие ослабляет сцепление, импульс доламывает. **Проверка:** два соседних пролёта, один с покрытием; сравнение нароста за сезон. **Риск:** ресурс покрытия под УФ и истиранием — главный открытый вопрос этой технологии; закладывать переобработку в экономику.

Программа-максимум (куда это сходится): датчики замечают нарост → автоматика даёт импульсную серию → лёд осыпается. Линия сбрасывает лёд сама, без бригад и без отключений — система, которая по духу и была целью задачи.

Что отклонено и почему (машина предлагала — агент снял)

- «Гибкие провода с изменяемой геометрией» (топ-1 машинного ранжирования) — это замена проводов, прямо запрещённая условием.
- «Тепловые трубы вдоль линии» — теплотехника локальных объектов; на километрах трассы экономически бессмысленна.
- «Настроить натяжение, чтобы провода колебались от ветра» — опасная инверсия: самопроизвольная пляска проводов — аварийный режим, с которым борются гасителями; поощрять её значит менять гололёд на усталостные обрывы и схлёстывания.
- «Распылять водяной пар на провода» — подача влаги на мороз наращивает лёд, а не снимает.
- «Развернуть провода к солнцу» — гололёд образуется в облачность и ночью; солнечный обогрев здесь не управляющий фактор.

Первый шаг

Параллельный пилот на одной гололёдоопасной ВЛ: (1) датчики тяжения + регламент адаптивной плавки на рабочем участке — эффект уже в первый сезон; (2) стендовая проверка импульсного сброса на выделенном пролёте с искусственным обледенением. Метрика одна и та же: киловатт-часы и человеко-часы на тонну снятого льда.

Как сделан разбор: наш поисковый движок (глубокий режим: 7 независимых генераций, пометки повторяемости механизмов) выявил физическое противоречие и дал поле кандидатов; инженер-агент проверил ходы по физике и ограничениям, снял нереализуемые, сверил остальное с отраслевой практикой (мониторинг тяжения, адаптивная плавка, электромеханические методы, испытания супергидрофобных покрытий) и собрал программу проверки. Машина ищет широко — отвечает человек.