ПРОГНОЗ РИСКА СРЫВА КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА В КАПИТАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПЛАН–ФАКТ, ПРОТОКОЛЫ СОВЕЩАНИЙ И ПОГОДНЫЕ ФАКТОРЫ

Темур Махкамов, *магистр Агентство «Узатом», Ташкент, УзбекистанE-mail: t.makhkamov@uzatom.uz*

Аннотация. *Срывы графиков обычно накапливаются цепочкой мелких задер- жек. Мы предлагаем компактный сервис, который ежедневно оценивает риск срыва на горизонтах 1–2–4 недели, объединяя: (i) план–факт и связи из MS Project/Primavera, (ii) текстовые сигналы из протоколов и заявок на изменения, (iii) погодные ограничения по окнам производства работ. Модель сочетает гради- ентный бустинг по табличным признакам с графовыми агрегатами (критичность, задержки у предков), выдаёт калиброванные вероятности и объяснения факторов. Архитектура рассчитана на on-prem и понятна инженерам ПТО.*

Ключевые слова: *риск срыва графика; критический путь; бустинг; граф зависи- мостей; калибровка вероятностей.*

Практическая постановка и вклад

Цель. Дать ранний и объяснимый сигнал «где тонко» с достаточным горизонтом для действий: перераспределить ресурсы, поменять фронт, оформить изменения.

Ограничения. Неоднородные шаблоны графиков, неполные протоколы, погрешности погодных источников; обучение только по ретроспективе без утечки будущего.

Вклад.

Единый конвейер план–факт + связи → признаки + графовые агрегаты бустинг + калибровка → сигналы с объяснениями.

Признаки, привычные ПТО: SPI/резервы, «наклон» выполнения, % проблемных предшественников, «погодные окна».

Строгая валидация (time-series split), метрики точности *и* калиброванности (Brier, ECE), офлайн-симуляция пользы.

Данные, очистка, признаки

Источники. (1) Экспорт MSP/Primavera: длительность, ранние/поздние даты, связи, total/free float, % выполнения, недельный план–факт. (2) Протоколы и служебные записки (маркеры: «не поставлено», «нет доступа», «ожидаем согласование», «погодное окно»). (3) Погода/календарь: осадки, ветер, T°C, праздники.

Очистка. Сведение кодировок задач; де-дублирование версий; удаление циклов; восстановление недельного план–факт; фильтрация нерелевантных записей.

Признаки (примеры).

- *План–факт:* % выполнения и его недельный наклон; SPI= $\frac{EV}{PV}$; отклонение от S-кривой.
- *Критичность:* total/free float; флаг «на критическом пути».
- *Граф:* число проблемных предков, сумма их задержек на k шагах, близость к критическому пути.
- *Погода:* число дней с осадками/ветром > порога в окне выполнения.
- *Тексты:* частоты триггер-слов за 1–2 недели (BM25/эмбеддинг-скор с чёрным списком «воды»).

1 Метод

Модель и объяснимость

Для каждой задачи и горизонта $h \in \{1, 2, 4\}$ недели предсказывается вероятность события «задержка > порога». Базовая модель — XGBoost/LightGBM; важности и *SHAP*-карты показываются в карточке задачи. Графовые агрегаты

Граф предшествования — ориентированный ациклический. К локальным признакам добавляются агрегаты по окрестности (предки/потомки на k шагах, доля «красных» рёбер, близость к критическому пути). При достойном сигнале возможна лёгкая GNN (1–2 слоя сообщений).

Калибровка и политика сигналов Вероятности приводятся к честным (изотоника/Платт) о скользящему ок-ну. Сигнал подаётся при выполнении двух порогов: по вероятности (под целевой уровень ложных тревог) ипо ожидаемой задержке $E[\Delta] = p \cdot$ожидаемая длительность. Практическое правило: если $p \geq 0.60$, $E[\Delta] \geq 3$ дня и опережение ≥ 1 недели — зада- ча попадает в «красный» список; при

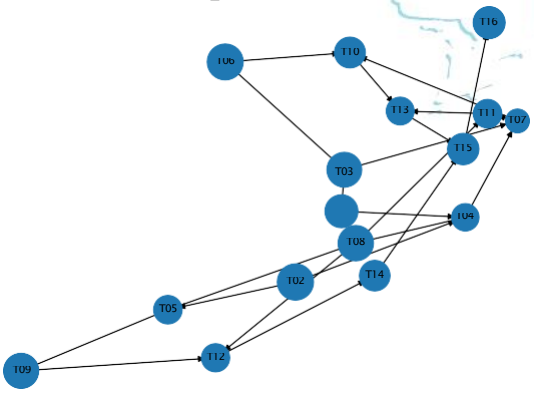


Рис. 1. Фрагмент графа предшествова- ния: размер узла оценке риска; утолщённые дуги — напряжённые связи.$p \in [0.35, 0.60)$ — «жёлтый» с рекомендацией по ресурсам.

2 Кейс-пилот (фрагмент, анонимизировано)

Узел «U-07, монтаж армокаркаса» достиг p= 0.64 на неделе t= 10 (порог 0.60). Вклад: падение SPI 0.98 → 0.91, два проблемных предшественника (U-05, U-06) с суммарной задержкой 4,5 дня, прогноз осадков (2 дня из 5 в окне работ). Сигнал пришёл за 9 дней до «раннего старта»; ПТО сместил фронт на соседний участок и добавил смену на U-06. Факт: вышли в «жёлтый» сценарий с итоговым



сдвигом 2 дня (вместо ожидаемых 3–4)

Рис. 2. Динамика риска по неделям: порог срабатывания и момент перехода в «красный».

Рис. 3. Важность признаков: доминируют float, SPI и про- блемные предшественники.

3 Оценка качества

Протокол. **Expanding time-series split (train → валидация на следующей неделе), без утечки будущего.**

Метрики. AUC-PR, Brier-скор и ECE (калибровка), среднее опережение сработок, доля предотвращённых задержек в офлайн-симуляции при фиксированном ресурсе.

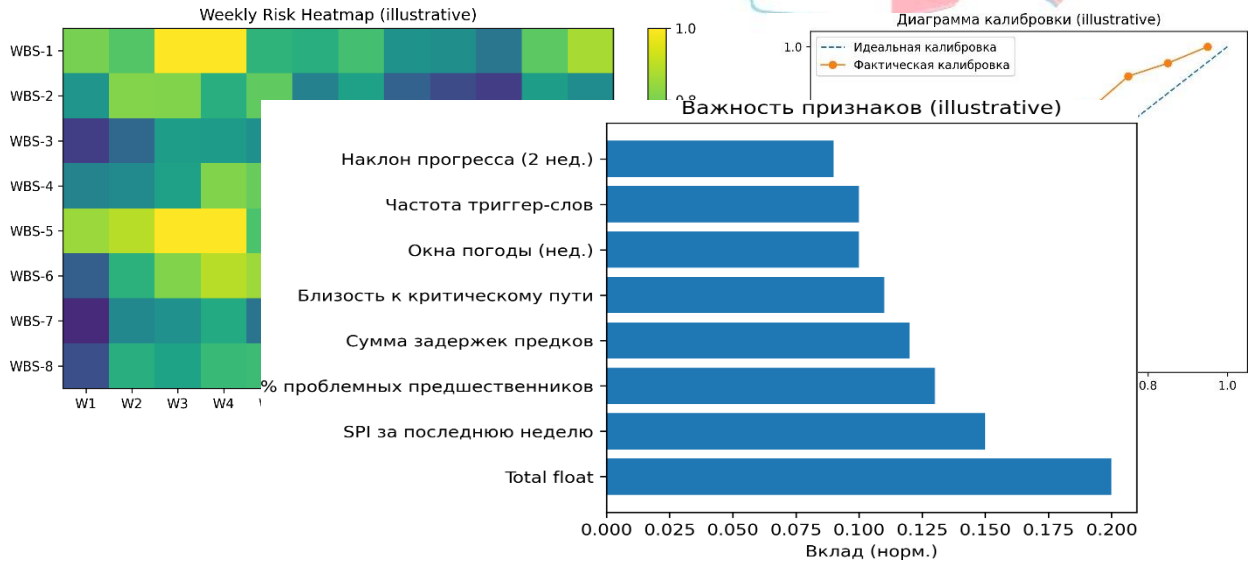


Рис. 4. «Тепловая карта» риска: недели × укруп- нённые работы (WBS) —

приоритизация обхо- дов.

Рис. 5. Калибровка вероятно- стей: чем ближе к диагонали, тем честнее.Внедрение и требования

Сервис на FastAPI: ежедневный ETL из MSP/Primavera/XLSX, инференс на CPU, журналирование решений для аудита. Интерфейс: сортировка по риску, фильтры по WBS, explain-карты факторов, экспорт PDF/Excel. Развёртывание on-prem с профилями доступа.

4 Выводы

Предложен практичный способ раннего и объяснимого прогноза риска срыва с опорой на привычные инженерные показатели и честную калибровку.

Литература

1. Herroelen W., Leus R. Project scheduling under uncertainty. *EJOR*, 2005.
2. Bianchi G. et al. ML for project schedule risk analysis. *Automation in Construction*, 2022.
3. Chen T., Guestrin C. XGBoost. *KDD*, 2016.
4. Kipf T., Welling M. GCN. *ICLR*, 2017.
5. Niculescu-Mizil A., Caruana R. Predicting Good Probabilities. *ICML*, 2005.