



Вычислительная платформа для динамического анализа стойкости взаимодействующих систем

Мещерин С. А.,
к ф.-м. н. Кириллов И. А.,
д. ф.-м. н. Клименко С. В.



10 февраля 2016

МОТИВАЦИЯ

- **Инфраструктура** - комплекс *взаимосвязанных* обслуживающих структур или объектов, составляющих и/или обеспечивающих основу функционирования системы
- Обеспечение бесперебойной работы крупных инфраструктурных объектов (транспортная инфраструктура, газопроводы, сетевая инфраструктура) – важнейшая задача по обеспечению безопасности
- **Цель работы** – углубить понимание анализа риска и стойкости с учётом *динамики* развития опасных процессов и мер противодействия кризисной ситуации
- Текущие риск-информированные методы анализа кризисной ситуации как правило оперируют статическими методами анализа (деревья отказа, статические сценарии, и т. д.)

МНОГОУРОВНЕВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Техпроцесс



Водоснабжение



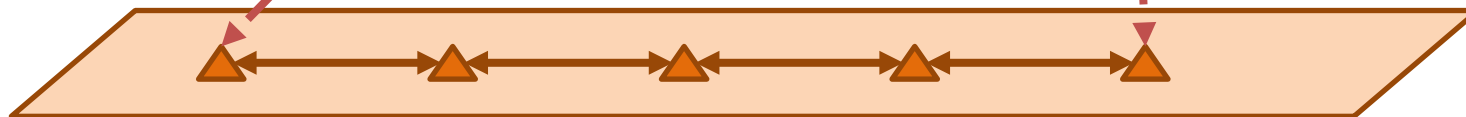
Дорожная сеть



Энергосеть



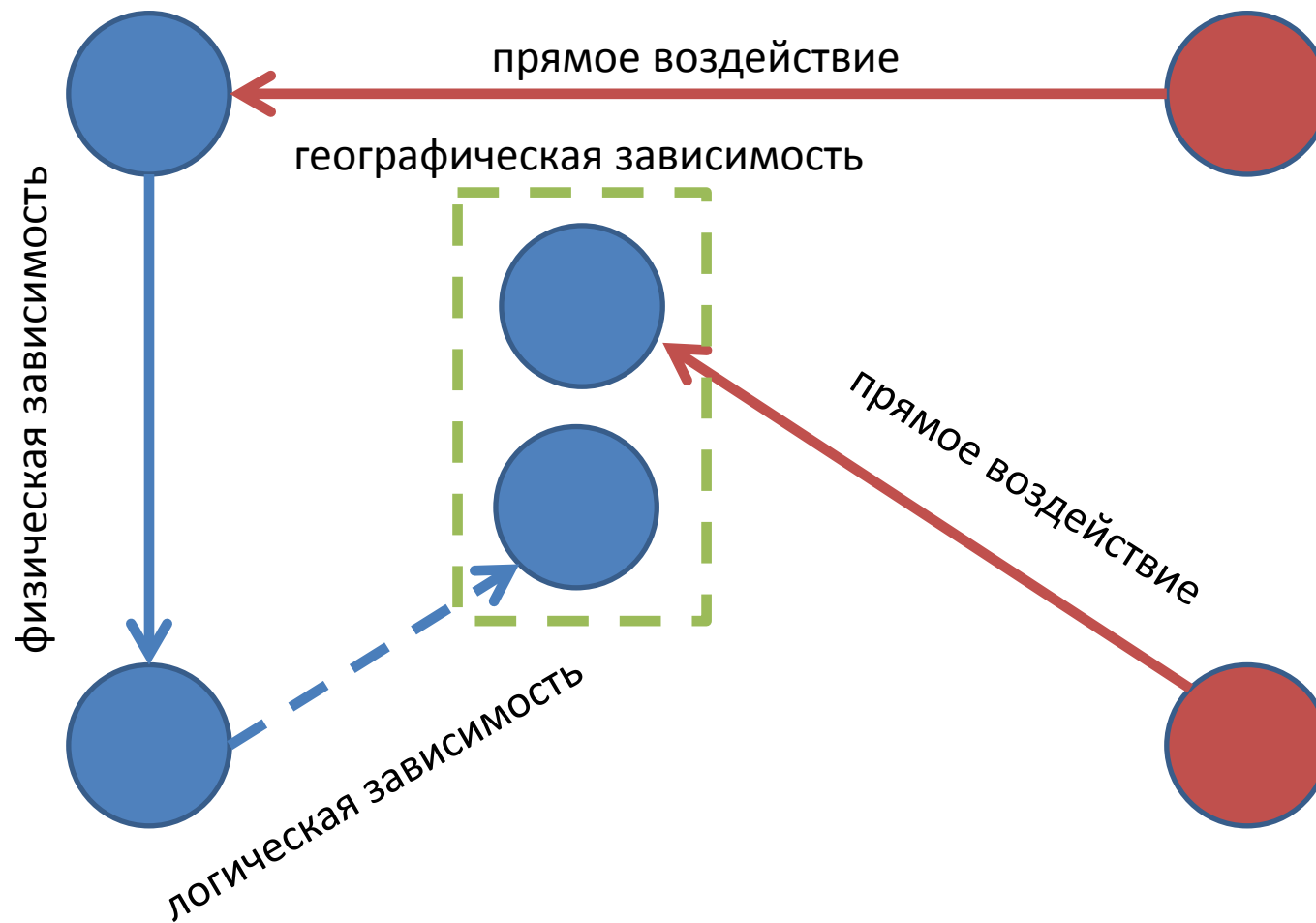
Компьютерные сети



ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОДЕЛИ

- **Уязвимый узел** – элемент инфраструктуры, безопасность которого необходимо обеспечивать (нефтепроводы, газопроводы, железнодорожные узлы, автомобильные дороги)
- **Угроза** – событие, которое может нарушить регулярную работу уязвимого узла (отключение электричества, техногенная авария, стихийные бедствия)
- **Функциональная зависимость** – связь между узлами, при которой функционирование одного узла (потомка) зависит от функционирования других (родительских) узлов
- **Уровень сервиса** - количественная метрика, характеризующая производимую узлом работу. Это может быть пассажиропоток, кол-во производимой электроэнергии, и т. д. Уровень сервиса может быть рассчитан как для отдельного узла, так и для инфраструктуры в целом

УЯЗВИМЫЕ УЗЛЫ И УГРОЗЫ





УЯЗВИМЫЙ УЗЕЛ

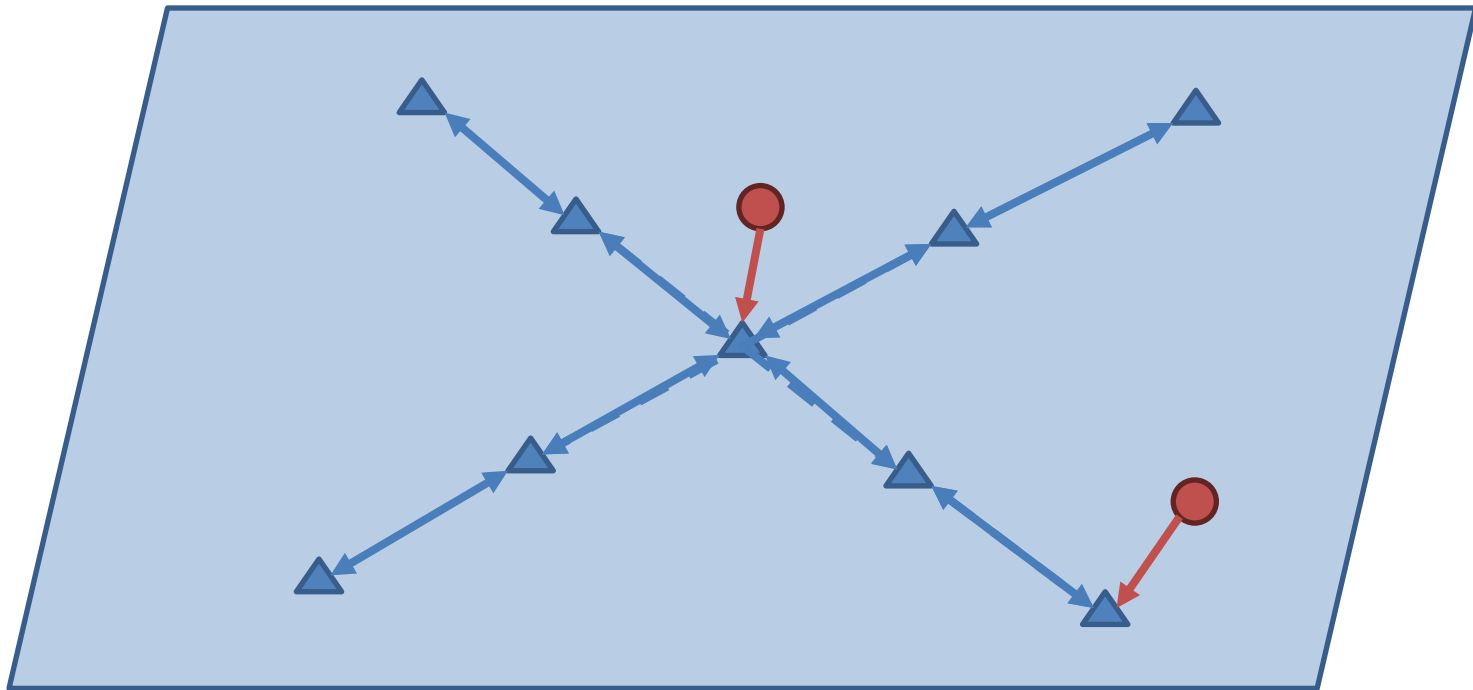
- **Уязвимый узел** – элемент инфраструктуры, выход из строя которого может привести к нежелательным последствиям и безопасность которого необходимо обеспечивать (физические, организационные и информационные).
- Основные характеристики узла:
 - Производимый сервис
 - Требуемый сервис
 - Зависимые узлы
 - Коэффициент предоставления сервиса (динамическая характеристика)
- Различают *прямые* и *косвенные* воздействия угроз на уязвимый узел

УГРОЗА

- **Угроза** – потенциально опасное событие, которое может повлиять на уровень сервиса, производимый уязвимыми узлами
- Угрозы могут быть как техногенного характера (отключение энергии, газо-, водо- снабжения), так и естественного (пожары, землетрясения, наводнения)
- Характерные стадии жизненного цикла угрозы:
 - начало воздействия
 - эскалация угрозы
 - реакция на угрозу
 - восстановление работоспособности узла

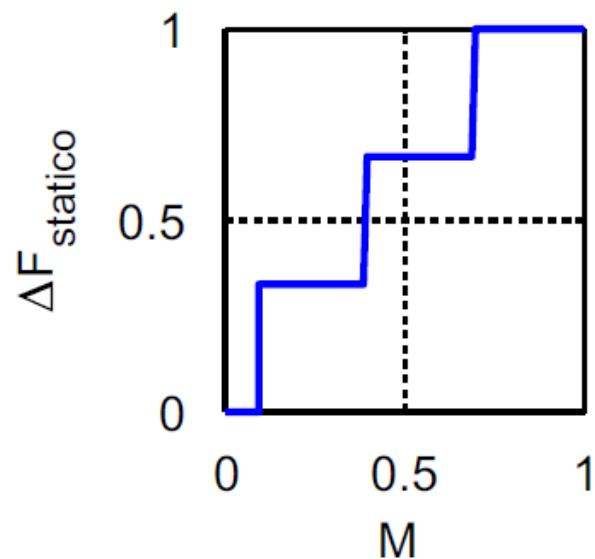
РАСПРОСТРАНЕНИЕ УГРОЗЫ

Транспортная сеть

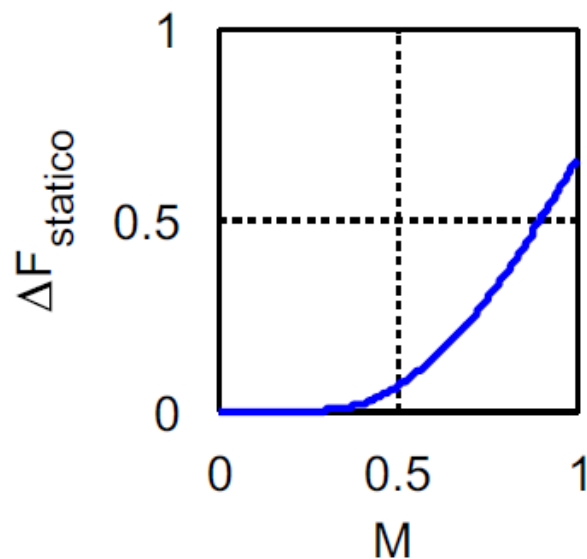


СТЕПЕНЬ ДЕГРАДАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ОТ АМПЛИТУДЫ УГРОЗЫ

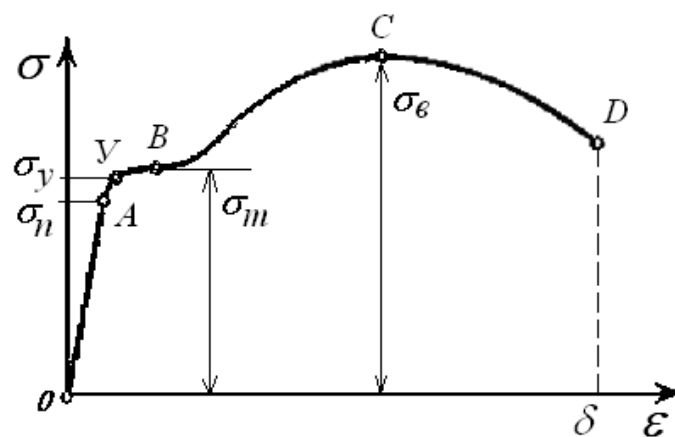
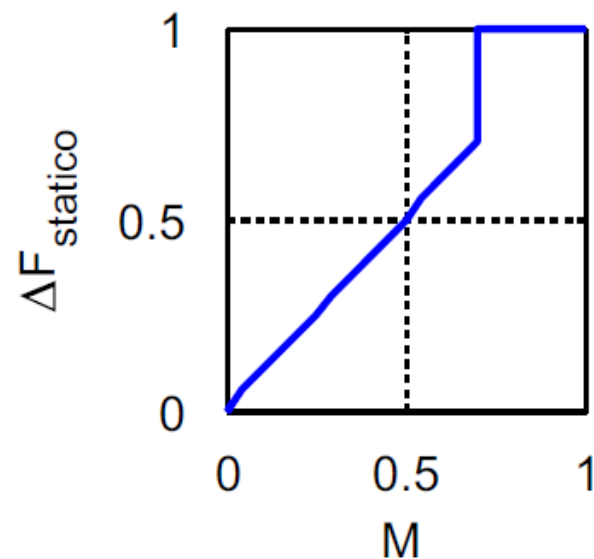
a



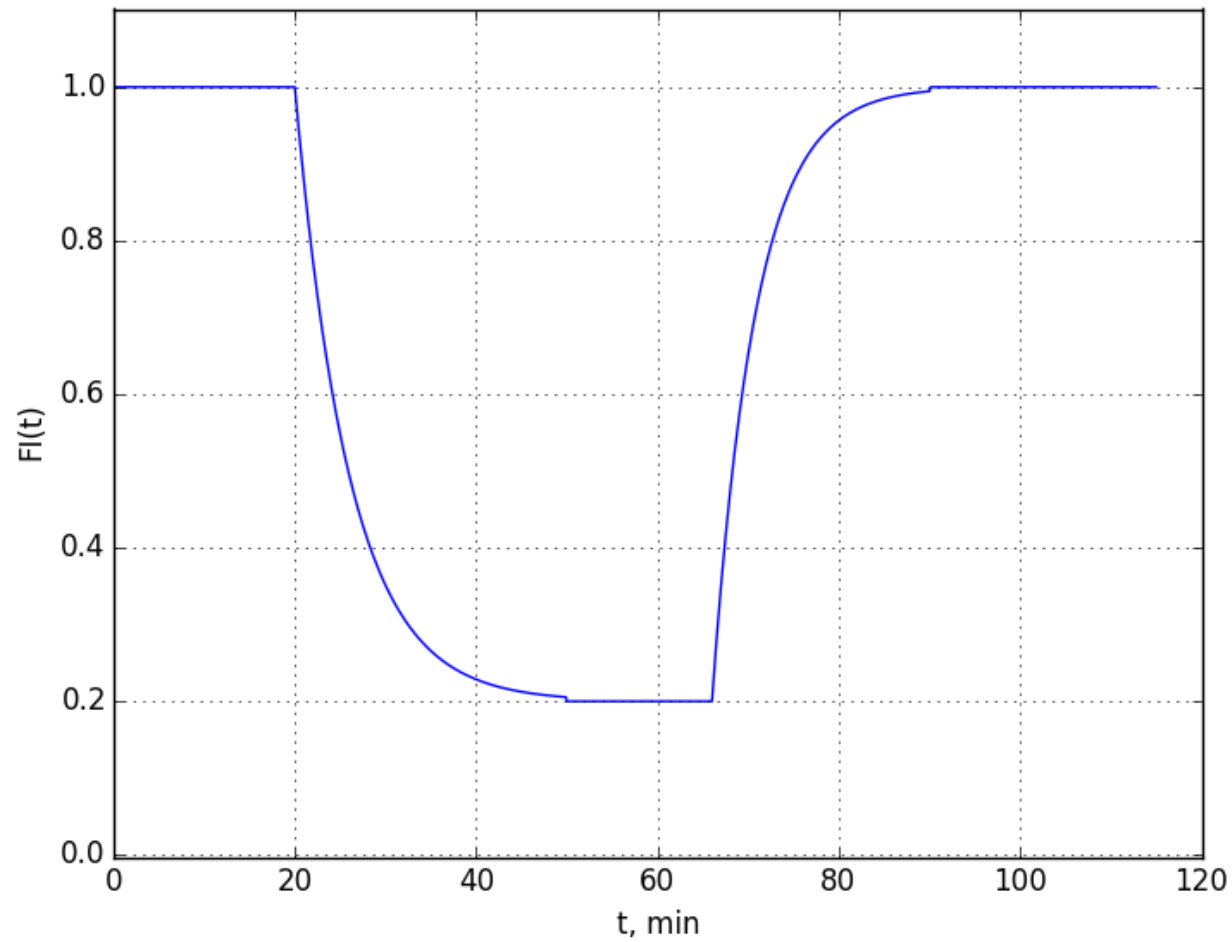
b



c



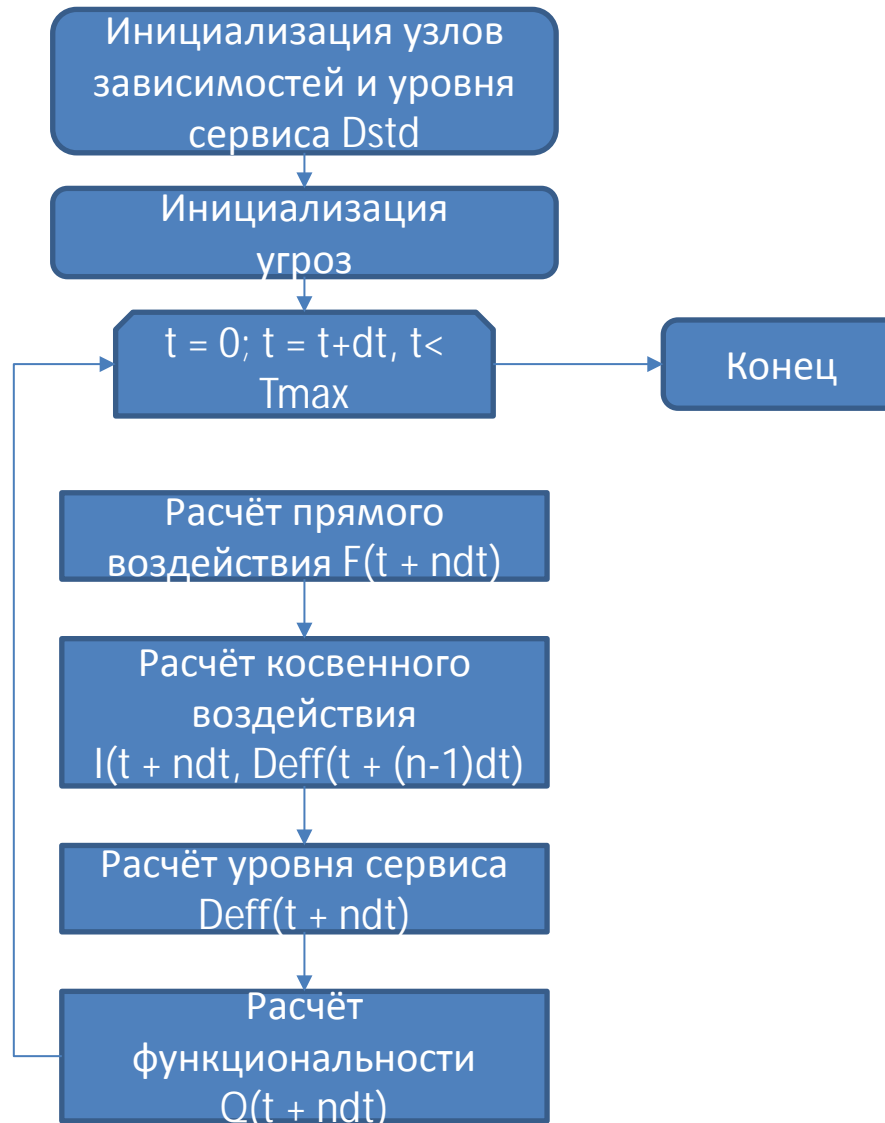
ФУНКЦИЯ ЭВОЛЮЦИИ УГРОЗЫ



УПРАВЛЯЮЩИЕ УРАВНЕНИЯ

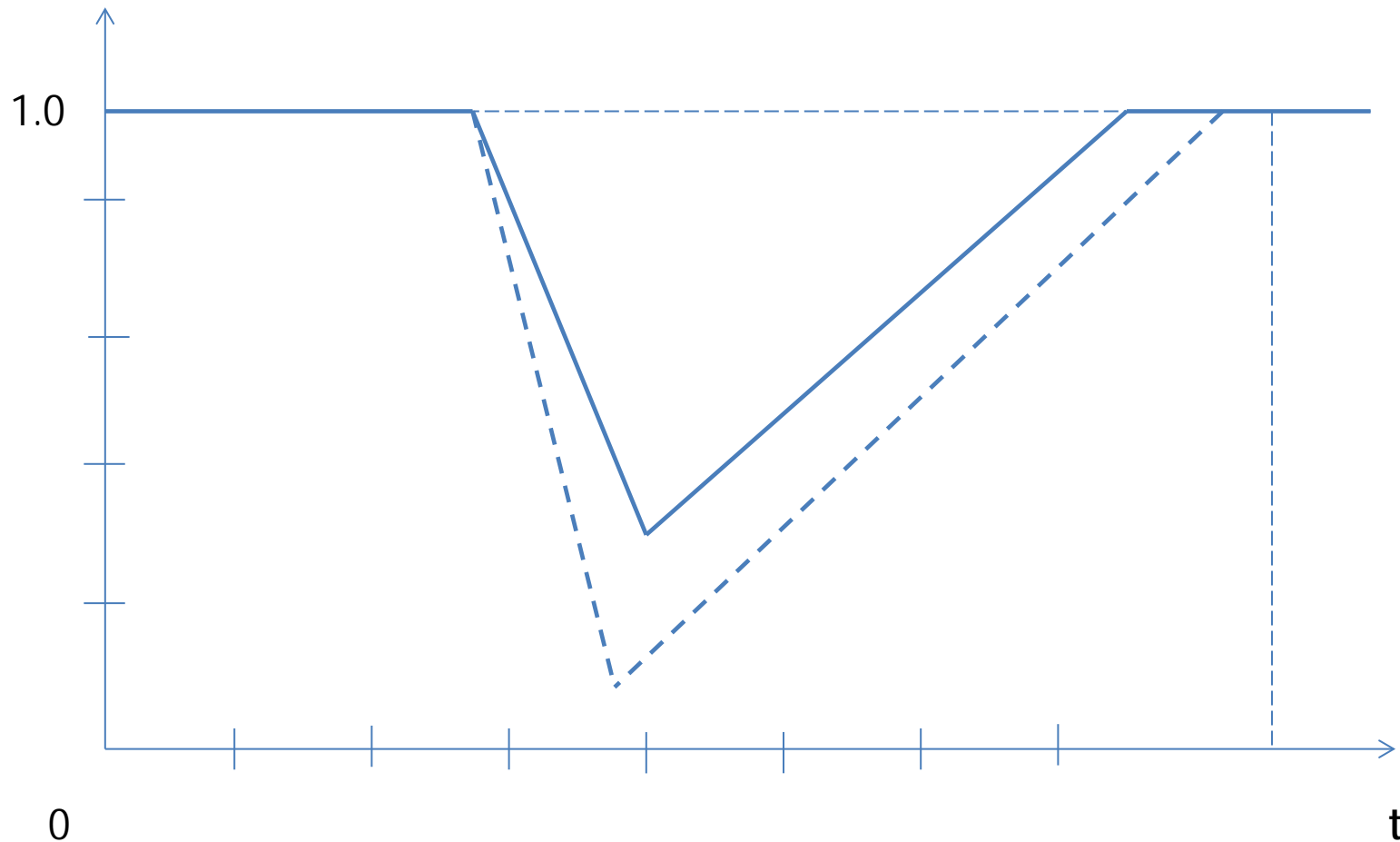
- $dI(j, t) = F(d\Delta(k, t))$
- $f_{I\Delta}(k, j)(\Delta j)$ - функция передачи физической зависимости
- $f_{It}(k, j)(t)$ - функция распространения физической зависимости
- $dI(k, t) = df_{I\Delta}(k, j)[\Delta(j, t)]f_{It}(k, j)(dt)$
- $DS(j, k)$ – степень передачи потребностей от родительского узла j к дочернему узлу k
- Изменение в потребности сервиса от дочернего узла $k \Delta_{log} = DS(t)[D_{std}(t) - S_{max}(t)]$
- Финальная потребность в сервисе от узла $k D_{eff}(t) = D_{std}(t) + \Delta D_{log}(t)$

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА УРОВНЯ СЕРВИСА СИСТЕМЫ



ТРЕУГОЛЬНИК СТОЙКОСТИ

$Q(t)$ – уровень функциональности системы

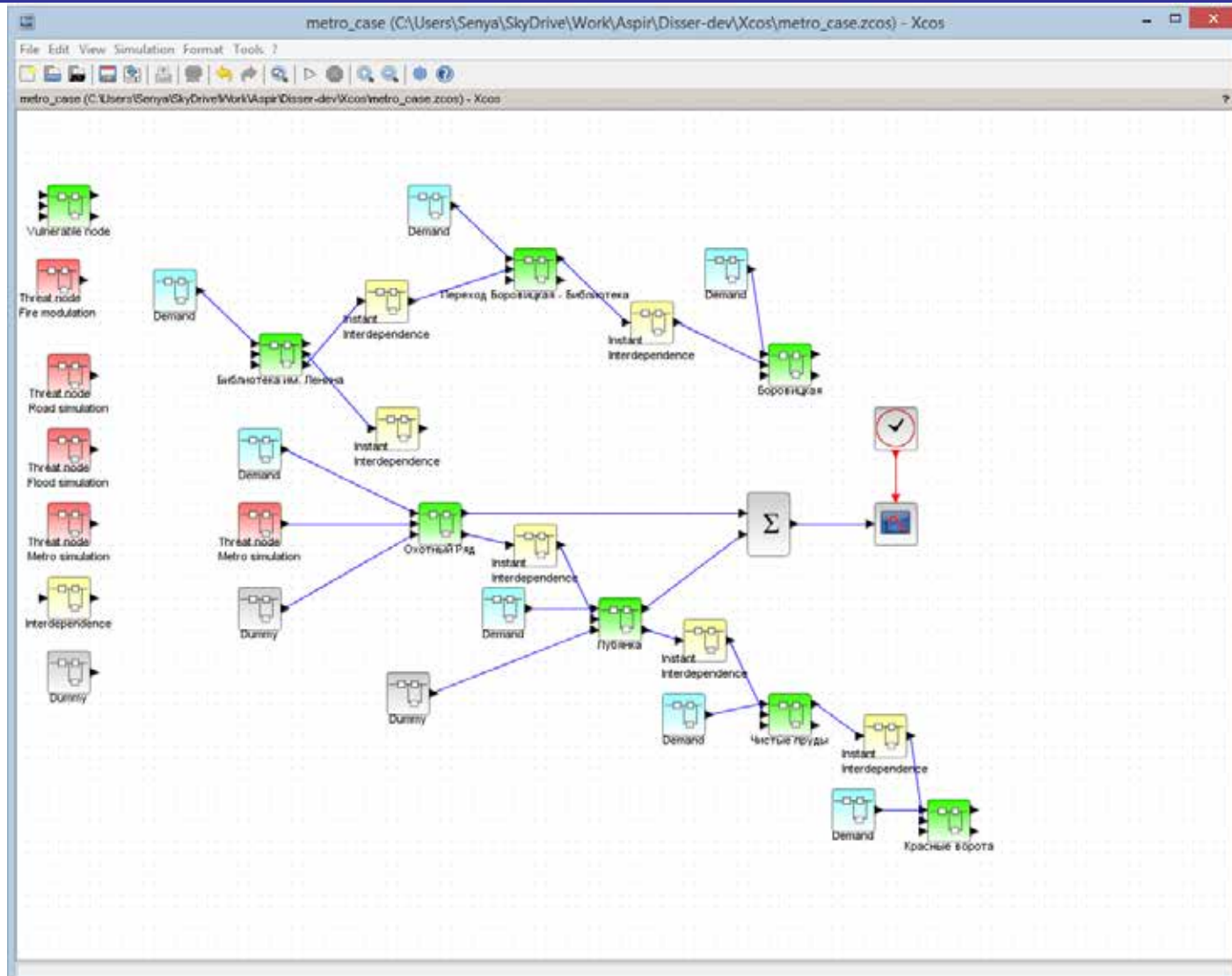


- с взаимозависимостями
- без взаимозависимостей

ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ

- Тестирование модели на основе данных о пассажиропотоках московского метро
- Рассмотрены участки Сокольнической и Кольцевой линий в окрестности их пересечения
- Уязвимые узлы – станции метро и переходы между станциями
- Угрозы – аварии в тоннелях и отключение электроэнергии
- Уровень сервиса $Q(t)$ – суммарный пассажиропоток на уязвимых узлах

ПРИМЕР - МЕТРО



ВЫВОДЫ

- Разработана модель динамической стойкости сетевых систем с взаимозависимой инфраструктурой
- Модель учитывает несколько видов взаимозависимостей, включая физические и логические
- Модель опробована для моделирования сценариев аварии в Московском Метрополитене
- В настоящее время модель адаптируется для детального анализа риска и стойкости в промышленности и энергетике

Спасибо за внимание