

УДК 004.94:519.17:519.816

DOI: 10.22213/2410-9304-2026-1-43-51

## Конфликтно-устойчивое графовое моделирование рисков технических систем по слабоструктурированной информации для поддержки принятия решений

*Е. А. Конников*, кандидат экономических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

*Н. Д. Дмитриев*, кандидат экономических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

*П. А. Поляков*, НИЛ «Политех-Инвест», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

*В статье разработан и апробирован метод конфликтно-устойчивой сценарной оценки рисков технических систем при анализе слабоструктурированных событийных сообщений. Предложенный подход объединяет ориентированный граф событий, аппарат теории свидетельств Демпстера – Шефера и мониторинг временной нестационарности связей. Метод обеспечивает совместную оценку риск-интервала, конфликтности свидетельств и объема незнания, что повышает прозрачность экспертной интерпретации и снижает вероятность ошибочной приоритизации сценариев. Научная новизна состоит в согласованном использовании указанных измерений в процедуре вывода, в которой неопределенность сохраняется в явном виде и трактуется как количественный показатель качества данных. Эмпирическая проверка выполнена на данных Комиссии по ядерному регулированию США. Проанализированы 1474 карточки событий за 2002–2025 годы. На этапе подготовки проведена нормализация терминологии, унификация классов тяжести и выделение сущностей, формирующих причинно-следственные переходы. В результате построен конфликтограф, включающий 624 вершины и 804 ориентированные дуги. Для приоритетных сценариев получены интервальные оценки риска на основе доверия и правдоподобия. Для дуг рассчитаны показатели накопленной конфликтности и структурного дрейфа в скользящих окнах 180 суток. Установлено, что высокая противоречивость свидетельств концентрируется в переходах к тяжелым последствиям, тогда как динамика дрейфа носит кластерный характер и проявляется чередованием стабильных и переходных фаз. Практическая значимость результатов состоит в формировании воспроизводимой процедуры поддержки решений. По совокупности окон выявлено 151 дрейфующее окно из 1404 (10,75 %), а число нестационарных связей составило 44 из 208 (21,15 %). Интервалы риска применяются для оперативной приоритизации действий, конфликтность для верификации источников, индикаторы дрейфа для регламентной актуализации модели безопасности. Метод может быть адаптирован для других высокорисковых инженерных доменов с неполными и неоднородными данными.*

**Ключевые слова:** сценарная оценка риска, конфликтность свидетельств, явная неопределенность, ориентированный граф событий, теория свидетельств Демпстера – Шефера, структурный дрейф связей, приоритизация сценариев, управление безопасностью.

### Введение

Системы управления безопасностью высокорисковых технических объектов сталкиваются с ростом доли слабоструктурированных сообщений. Описания событий содержат причинно-следственные фрагменты. Данные остаются неполными и разнотипными. Модель поддержки решений должна учитывать тяжесть последствий и обоснованность вывода на каждом шаге анализа.

Отечественные нормативные документы по количественной оценке риска фиксируют совместный учет идентификации опасностей, анализа последствий и анализа неопределенности. Такое требование задает структуру вычислительной процедуры и состав выходных индикаторов [1]. Работы по автоматизированному построению графов знаний из табличных источников показывают достижимость корректных семантиче-

ских представлений предметной области при неоднородном формате входных данных, что сохраняет пригодность для формализованного вывода [2].

Исследования по извлечению онтологических объектов и отношений из полуформальных отчетов формируют основу машиночитаемого описания событийных процессов в инженерных системах [3]. Длинные временные ряды демонстрируют дрейф распределений. При изменении режимов эксплуатации и практик регистрации событий падает согласованность ранее построенных зависимостей с актуальными данными [4].

Для эксплуатации требуется поддержка жизненного цикла знаний. Требуется регулярное обновление графовой структуры и пересчет оценок доверия к связям по мере поступления новых сообщений [5]. Графовые и гиперграфовые представления удобны для анализа структурно-сложных систем. Формализация выделяет многокомпонентные взаимодействия факторов и переходы между состояниями [6]. Системы упреждающей поддержки решений используют ранжирование рисков для планирования упреждающих действий и экспертной проверки неопределенных сценариев [7]. Цифровые системы мониторинга надежности программных и киберфизических компонентов подтверждают применимость комбинированных моделей, где структурные зависимости сочетаются с адаптивной оценкой достоверности наблюдений [8].

Цель исследования состоит в разработке и валидации метода конфликтно-устойчивой сценарной оценки риска, интегрирующего граф событий, теорию свидетельств Демпстера – Шефера и мониторинг временной нестационарности связей для повышения обоснованности решений.

#### **Используемые подходы**

Теоретическую основу исследования составляют представления о графах знаний как о семантически насыщенных структурах для фиксации фактов и логического вывода зависимостей. Такой аппарат применим при риск-анализе на протяженных причинно-следственных цепочках [9].

Для объединения разнородных свидетельств используется теория Демпстера –

Шефера в инженерной постановке. Интервальные оценки доверия и правдоподобия поддерживают корректность вывода при неполноте данных и частичной противоречивости наблюдений [10]. В работе [11] описана цифровая схема мультиагентной координации и адаптивного управления потоками в пространственно распределенных энергетических системах. Результаты подтверждают применимость графо-ориентированного описания взаимодействий. В смежной постановке показано, что интеллектуальное управление электроснабжением мехатронно-насыщенных производств требует совместного учета качества электроэнергии, сетевых ограничений и динамики нагрузки в цикле принятия решений [12].

На уровне обработки источников в работе [13] обосновывается применимость графовых моделей семантической связанности и эмбедингов для выявления стабильных структур в неоднородных данных. Подход согласуется с задачей поиска риск-релевантных связей. В работе [14] развивается связка структурного и динамического анализа, объединяющая событийно-управляемое моделирование со стохастической оптимизацией для задач управления региональными энергетическими системами. В другом исследовании [15] авторы рассматривают автоматизированный сбор и обработку пространственно-временных данных как источник воспроизводимой эмпирической базы для аналитики промышленной динамики и повышения точности последующей оценки риска.

Выбранная методическая конфигурация согласует три направления: извлечение знаний из разнородных сообщений, агрегацию свидетельств и мониторинг нестационарности связей.

#### **Материалы и методы**

Эмпирическую базу составил массив данных Комиссии по ядерному регулированию США (U.S. Nuclear Regulatory Commission), включающий 1474 карточки событий за 2002–2025 гг. Запись содержит временную метку, текстовое описание, идентификатор площадки и сведения о нормативном контексте. Предобработка включала нормали-

зацию классов тяжести, дедупликацию терминов и извлечение сущностей, формирующих причинно-следственные переходы. Выделены тип события, фактор опасности, последствие, инициирующее условие и объект наблюдения.



Рис. 1. Годовой профиль событий NRC (2002–2025 гг.)

Fig. 1. NRC Annual Event Profile (2002–2025)

Формальное описание предметной области задается ориентированным графом  $G = (V, E)$ , где вершины соответствуют сущностям, а дуги кодируют направленные причинно-следственные переходы:

$$G = (V, E), V = V_{event} \cup V_{hazard} \cup V_{consequence} \cup V_{site}. \quad (1)$$

Здесь  $V_{\{event\}}$  – множество вершин, соответствующих типам событий;  $V_{\{hazard\}}$  – вершины факторов опасности;  $V_{\{consequence\}}$  – вершины последствий;  $V_{\{site\}}$  – вершины площадок или объектов наблюдения. Множество дуг  $E$  задает ориентированные связи между классами сущностей и определяет пространство сценарных путей.

Для каждого сообщения вычислялся коэффициент надежности свидетельства с учетом типа источника, класса тяжести и давности наблюдения:

$$\alpha_i = \alpha_{type,i} \cdot \alpha_{sev,i} \cdot e^{-\lambda \Delta t_i} \cdot \alpha_{upd,i}. \quad (2)$$

Параметр  $\alpha_{type,i}$  отражает достоверность типа сообщения,  $\alpha_{sev,i}$  – задает вес тяжести, экспоненциальный множитель,  $e^{-\lambda \Delta t_i}$  – описывает временное затухание,  $\alpha_{upd,i}$  – учитывает статус актуализации записи.  $\lambda > 0$  задает скорость деградации информативности,  $\Delta t_i$  – задает временной лаг относительно момента анализа. Такая декомпозиция разделяет вклад содержательных и временных факторов в итоговое доверие к свидетельству.

Калибровка параметров коэффициента надежности выполнялась в два этапа. На первом этапе базовые веса типов источников задавались по шкале достоверности. На втором этапе коэффициенты тяжести и параметр временного затухания  $\lambda$  уточнялись на пилотной выборке по критерию устойчивости ранжирования сценариев.

Массы теории свидетельств Демпстера – Шефера для поддержки, опровержения и незнания формировались как:

$$m_{i(T)} = \alpha_i p_i, m_{i(\theta)} = 1 - \alpha_i, m_{i(F)} = 1 - m_{i(T)} - m_{i(\theta)}. \quad (3)$$

Компоненты  $m_{i(T)}$ ,  $m_{i(F)}$  и  $m_{i(\theta)}$  интерпретируются как поддержка истинности связи, поддержка отрицания и масса незнания. Параметр  $p_i$  характеризует локальную силу подтверждения в  $i$ -м наблюдении. Вынос незнания в отдельную массу сохраняет информацию о неполноте данных и исключает неявное перераспределение неопределенности между  $T$  и  $F$ .

Агрегация свидетельств по дуге выполнялась по правилу Демпстера с явным учетом конфликта:

$$K = m(T)m'(F) + m(F)m'(T), \quad (4)$$

$$m^{(\oplus)}(T) = \frac{m(T)m'(T) + m(T)m'(\theta) + m(\theta)m'(T)}{1 - K}, \quad (5)$$

$$m^{(\oplus)}(F) = \frac{m(F)m'(F) + m(F)m'(\theta) + m(\theta)m'(F)}{1 - K}, \quad (6)$$

$$m^{(\oplus)}(\theta) = \frac{m(\theta)m'(\theta)}{1 - K}. \quad (7)$$

Коэффициент  $K$  количественно выражает противоречие между объединяемыми свидетельствами: чем больше доля взаимно исключающих подтверждений и опровержений, тем ближе  $K$  к единице. Для интегральной характеристики противоречивости по одной дуге используется накопленная конфликтность. Интервальная риск-оценка сценария-пути определялась через доверие и правдоподобие дуг:

$$Bel_e = m_{e(T)}, Pl_e = m_{e(T)} + m_{e(\theta)}, \quad (8)$$

$$R_{(low)(p)} = S(p) \cdot Bel(p), R_{(high)(p)} = S(p) \cdot Pl(p), \quad (9)$$

$$R^{*(p)} = \lambda_r R_{(high)(p)} + (1 - \lambda_r) R_{(low)(p)} + \mu \bar{C}(p) + \nu \bar{U}(p). \quad (10)$$

Показатель  $Bel$  задает нижнюю границу подтвержденного риска, тогда как  $Pl$  определяет верхнюю допустимую границу с учетом незнания. Соответственно, интервал

$[R_{(low)(p)}, R_{(high)(p)}]$  отражает диапазон риск-оценки сценария  $p$ , а не единственное точечное значение. В итоговом показателе  $R^*(p)$  коэффициент  $\lambda_r$  управляет балансом между консервативной и подтвержденной оценкой, параметры  $\mu$  и  $\nu$  задают вклад конфликтности и неопределенности.

Такая конструкция обеспечивает более устойчивую приоритизацию. Сценарии с одинаковой величиной риска, но разным качеством данных получают различный управленческий приоритет. Нестационарность связей оценивалась в скользящих окнах длительностью 180 суток. Индикатор структурного дрейфа дуги задавался выражением:

$$D_e(t) = \omega_1 |Bel_t - Bel_{t-1}| + \omega_2 |Pl_t - Pl_{t-1}| + \omega_3 \max(0, K_t - K_{t-1}). \quad (11)$$

Здесь  $D_e(t)$  задает индикатор структурного дрейфа для связи  $e$  в момент  $t$ .

Веса  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  неотрицательны и нормированы.

В мониторинг включались связи, для которых в последовательности окон сохранялась статистическая достаточность наблюдений и корректно вычислялись интервальные и конфликтные показатели.

В результате критериям мониторинга соответствовали 208 связей из 804. Такой отбор исключает единичные редкие переходы и обеспечивает сопоставимость оценок дрейфа во времени.

Таблица 1. TOP-10 ребер по конфликту

Table 1. TOP-10 edges by conflict

Источник	Связь	Приемник	$m_T$	$m_F$	$m_\theta$	Bel(T)	Pl(T)	$C_e$	N
Медицинская травма	Ведет к	Летальный исход	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	280
Утечка/разлив	Ведет к	Выброс	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	313
Радиологический источник	Ведет к	Выброс	0.238	0.762	0.000	0.238	0.238	1.000	82
Пожар/дым	Ведет к	Выброс	0.773	0.227	0.000	0.773	0.773	1.000	62
Утечка/разлив	Ведет к	Летальный исход	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	86
Радиологический источник	Ведет к	Летальный исход	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	144
Пожар/дым	Ведет к	Летальный исход	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.999	81
Медицинская травма	Ведет к	Выброс	0.015	0.985	0.000	0.015	0.015	0.999	50
Дизель-генератор	Ведет к	Выброс	0.630	0.370	0.000	0.630	0.630	0.997	25
Дизель-генератор	Ведет к	Летальный исход	0.001	0.999	0.000	0.001	0.001	0.973	33

## Анализ результатов

В результате вычислительного эксперимента построен граф, включающий 624 вершины и 804 ориентированные дуги. Структура графа воспроизводит как частотные характеристики потока сообщений, так и внутреннюю противоречивость свидетельств. Наиболее часто встречающиеся факторы опасности приведены на рис. 2.

Полученная структура демонстрирует выраженную неоднородность плотности связей. Относительно компактное ядро часто встречающихся переходов соседствует с разреженной периферией редких комбинаций «фактор – следствие».

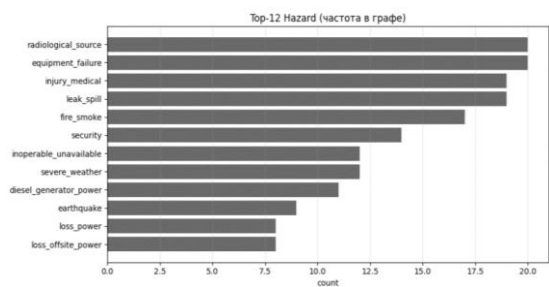


Рис. 2. Наиболее частые факторы опасности в графе событий

Fig. 2. The most common risk factors in the event graph

Ранжирование дуг по конфликтности показало, что максимальные противоречия концентрируются на переходах от факторов опасности к тяжелым последствиям. Для компактного представления в таблицах использованы русскоязычные описания категорий.

Данные табл. 1 показывают, что максимальная конфликтность концентрируется в переходах к тяжелым последствиям, где в реальных сообщениях чаще встречаются разнонаправленные интерпретации одного и того же эпизода.

При этом высокое значение  $C_e$  не тождественно высокой опасности. В ряде случаев оно отражает прежде всего несогласованность свидетельств. Поэтому практическая трактовка таблицы должна быть двухуровневой.

Таблица 2. TOP-10 связей по дрейфу (сводка)

Table 2. TOP-10 drift connections (summary)

Источник	Связь	Приемник	max drift	Maxconflictjump	Дрейф
Утечка/разлив	Ведет к	Выброс	1.805	0.545	Да
Медицинская травма	Ведет к	Летальный исход	1.324	0.773	Да
Дизель-генератор	Ведет к	Выброс	1.311	0.357	Да
Пожар/дым	Ведет к	Выброс	1.311	0.357	Да
Радиологический источник	Ведет к	Выброс	0.959	0.318	Да
Радиологический источник	Ведет к	Дозовое воздействие	0.831	0.000	Да
Энергоблок	Включает	Сильные погодные явления	0.822	0.000	Да
Радиологический источник	Ведет к	Летальный исход	0.783	0.347	Да
Энергоблок	Включает	Радиологический источник	0.732	0.000	Да
Дизель-генератор	Ведет к	Аварийная остановка	0.679	0.000	Да

Выявленная доля дрейфующих окон подтверждает нестационарный характер наблюдаемого процесса. Параметры связей меняются не плавно, а через чередование относительно стабильных и переходных фаз.

С методической точки зрения это означает, что единожды настроенная модель быстро теряет объяснительную силу при длительной эксплуатации без актуализации.

Следовательно, контур применения должен включать регламентный пересчет масс свидетельств, периодическую переоценку порога  $D_{thr}$  и повторную проверку приоритетов сценариев на скользящем временном горизонте.

Динамика на рис. 3 имеет кластерный характер. Фазы относительной устойчивости сменяются периодами резкого нарастания

Связи с высоким риском и низким незнанием служат основанием для немедленного вмешательства, тогда как связи с сопоставимым риском, но повышенной конфликтностью требуют дополнительной верификации источников и уточнения контекста.

По совокупности временных окон выявлено 151 дрейфующее окно из 1404 наблюдаемых (10,75 %), а число нестационарных связей составило 44 из 208 мониторируемых (21,15 %). Наиболее изменчивые связи представлены в табл. 2.

дрейфа. Практически это означает необходимость регулярного пересчета параметров графа и адаптивной подстройки порогов управленческих сигналов.

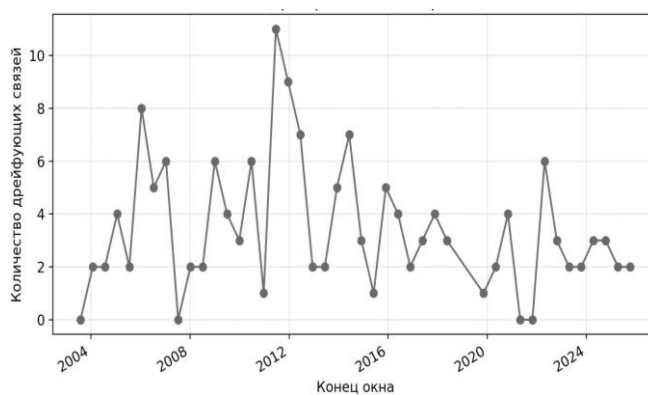


Рис. 3. Интенсивность дрейфа связей по временным окнам

Fig. 3. Intensity of drift of connections across time windows

В прикладном аспекте наблюдаемая динамика указывает на необходимость двухконтурного управления. Оперативного контура для реакций на сценарии с высоким риском и стратегического контура для работы с зонами устойчивой неопределенности и конфликтности. Оперативный контур обеспечивает приоритизацию действий в краткосрочном горизонте, стратегический – верификацию источников, пересмотр порогов и регламентную актуализацию модели.

### Выводы

Разработан и апробирован метод сценарной оценки риска технических систем при неполноте и противоречивости слабоструктурированных событийных сообщений. Метод объединяет ориентированный граф событий, аппарат Демпстера – Шефера и контроль временной нестационарности параметров дуг в скользящих окнах.

Научная новизна состоит в согласованном учете трех измерений вывода. Риск задается интервалом  $[R_{low}, R_{high}]$  на основе  $Bel$  и  $Pl$ . Конфликтность агрегирования фиксируется коэффициентом  $K$  и накопленной конфликтностью. Незнание описывается массой  $m(\Theta)$  и включается в итоговую ранжирующую метрику как количественный индикатор качества данных. Такое разделение снижает смешение неопределенности с подтверждением и опровержением и повышает интерпретируемость приоритизации сценариев.

Экспериментальные результаты показывают концентрацию конфликтности на переходах к тяжелым последствиям при неоднородной структуре графа. Мониторинг выявляет неравномерную динамику нестационарности, проявляющуюся фазами стабильности и переходами. Доля дрейфующих окон составила 10,75 %, доля нестационарных связей 21,15 %. Следовательно, статическая настройка параметров без регламентного обновления приводит к деградации согласованности модели с текущими данными.

Практическая применимость связана с формализованным набором выходных индикаторов и процедурой обновления. Интервалы риска используются для оперативной приоритизации, конфликтность

для проверки согласованности источников и классификаций, показатели дрейфа для планирования пересчета масс и перенастройки порога  $D_{thr}$ . Метод применим к другим высокорисковым инженерным доменам неоднородными и неполными данными при сохранении структуры графа и правил агрегации свидетельств.

### Библиографические ссылки

1. Yager R. R. On the Dempster-Shafer framework and new combination rules // *Information Sciences*. 1987. Vol. 41, no. 2. P. 93–137. DOI: 10.1016/0020-0255(87)90007-7.
2. Дородных Н. О., Юрин А. Ю. Подход к автоматизированному наполнению графов знаний сущностями на основе анализа таблиц // *Онтология проектирования*. 2022. Т. 12, № 3 (45). С. 336–352. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-336-352.
3. Видия А. В., Дородных Н. О., Юрин А. Ю. Подход к созданию онтологий на основе электронных таблиц с произвольной структурой // *Онтология проектирования*. 2021. Т. 11, № 2(40). С. 212–226. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-212-226.
4. Обнаружение дрейфа распределения / А. А. Грушо, Н. А. Грушо, М. И. Забейло, Д. В. Смирнов, Е. Е. Тимонина, С. Я. Шоргин // *Системы и средства информатики*. 2022. Т. 32, № 4. С. 14–20. DOI: 10.14357/08696527220402.
5. Шищенко М. А. Подходы к автоматизации работ с онтологическими ресурсами // *Онтология проектирования*. 2024. Т. 14, № 2(52). С. 256–269. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-256-269.
6. Яблова Е. Р. Моделирование сложных технических систем на основе гиперграфов для определения взаимодействий агентов // *Программные продукты и системы*. 2025. Т. 38, № 4. С. 588–597. DOI: 10.15827/0236-235X.152.588-597.
7. Задиран К. С., Волкова Д. А., Щербаков М. В. Фреймворк для автоматизации прогнозирования остаточного ресурса оборудования при построении проактивных систем поддержки принятия решений // *Программные продукты и системы*. 2025. Т. 38, № 1. С. 100–107. DOI: 10.15827/0236-235X.149.100-107.
8. Привалов А. Н., Ларкин Е. В., Богомолов А. В. Моделирование надежности программных компонентов киберфизических систем // *Программные продукты и системы*. 2025.

T. 38, № 1. С. 47–54. DOI: 10.15827/0236-235X.149.047-054.

9. Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., et al. Knowledge Graphs // ACM Computing Surveys. 2021. Vol. 54, no. 4. Art. 71. DOI: 10.1145/3447772.

10. Albogami S. M., Ariffin M. K. A. B. M., Supeni E. E. B., Ahmad K. A. A New Hybrid AHP and Dempster-Shafer Theory of Evidence Method for Project Risk Assessment Problem // Mathematics. 2021. Vol. 9, no. 24. Art. 3225. DOI: 10.3390/math9243225.

11. Zaytsev A., Dmitriev N., Lavrova O. Digital Architecture for Multi-Agent Coordination and Adaptive Management of Power Flows in Spatially Distributed Energy Systems // 2025 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). 2025. DOI: 10.1109/UralCon67204.2025.11206682. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11206682>

12. Dmitriev N., Zaytsev A., Aleksanyan V. Integrated Intelligent Power Supply Management in Mechatronics-Intensive Manufacturing Facilities // 2025 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). 2025. DOI: 10.1109/UralCon67204.2025.11206681.

13. Dmitriev N., Zaytsev A., Konnikov E. Graph-Based Model of Semantic Entanglement in Information Sources Using Embedding Representations and Coherence Analysis // 2025 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2025. DOI: 10.1109/RusAutoCon65989.2025.11177441.

14. Zaytsev A., Dmitriev N., Konnikov E. Integration of Event-Driven Modeling and Stochastic Optimization Within Control Frameworks of Regional Energy Systems // 2025 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2025. DOI: 10.1109/RusAutoCon65989.2025.11177371.

15. Zaytsev A., Dmitriev N. Automated Collection and Processing of Spatiotemporal Data for the Analysis of Sustainable Development in Industrial Systems // 2025 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). 2025. DOI: 10.1109/SmartIndustryCon65166.2025.10986205.

## References

1. Yager RR. On the Dempster-Shafer framework and new combination rules. **Information Sciences**. 1987;41(2):93–137. doi:10.1016/0020-0255(87)90007-7.

2. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. [An approach and web-based tool for automated know-

ledge graph filling with entities based on table analysis]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(3):336–352. doi:10.18287/2223-9537-2022-12-3-336-352 (in Russ.).

3. Vidiya A.V., Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. [An approach to ontology engineering based on transformation of arbitrary spreadsheets]. *Ontology of Designing*. 2021; 11(2):212–226. Doi:10.18287/2223-9537-2021-11-2-212-226 (in Russ.).

4. Grusho A.A., Grusho N.A., Zabezhalo M.I., Smirnov D.V., Timonina E.E., Shorgin S.Ya. [Detection of distribution drift]. *Sistemy I Sredstva Informatiki*. 2022; 32(4):14–20. Doi:10.14357/08696527220402 (in Russ.).

5. Shishenkov M.A. [Approaches to automating processes of working with ontological resources]. *Ontology of Designing*. 2024; 14(2):256–269. Doi:10.18287/2223-9537-2024-14-2-256-269 (in Russ.).

6. Zyablova E.R. [Hypergraph-based modeling of complex technical systems for agent interaction determination]. *Software & Systems*. 2025; 38(4):588–597. Doi:10.15827/0236-235X.152.588-597 (in Russ.).

7. Zadiran K.S., Volkova D.A., Shcherbakov M.V. [A framework for automating the prediction of the remaining life of equipment when building proactive decision support systems]. *Software & Systems*. 2025; 38(1):100–107. Doi:10.15827/0236-235X.149.100-107 (in Russ.).

8. Privalov A.N., Larkin E.V., Bogomolov A.V. [Modeling the reliability of software components of cyber-physical systems]. *Software & Systems*. 2025; 38(1):47–54. Doi:10.15827/0236-235X.149.047-054 (in Russ.).

9. Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., et al. Knowledge Graphs. *ACM Computing Surveys*. 2021;54(4):71. doi:10.1145/3447772.

10. Albogami S.M., Ariffin M.K.A.B.M., Supeni E.E.B., Ahmad K.A. A New Hybrid AHP and Dempster-Shafer Theory of Evidence Method for Project Risk Assessment Problem. *Mathematics*. 2021;9(24):3225. doi:10.3390/math9243225.

11. Zaytsev A., Dmitriev N., Lavrova O. Digital Architecture for Multi-Agent Coordination and Adaptive Management of Power Flows in Spatially Distributed Energy Systems. In: 2025 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon); 2025. doi:10.1109/UralCon67204.2025.11206682.

12. Dmitriev N., Zaytsev A., Aleksanyan V. Integrated Intelligent Power Supply Management in Mechatronics-Intensive Manufacturing Facilities. In: 2025 International Ural Conference on

Electrical Power Engineering (UralCon); 2025. doi:10.1109/UralCon67204.2025.11206681.

13. Dmitriev N., Zaytsev A., Konnikov E. Graph-Based Model of Semantic Entanglement in Information Sources Using Embedding Representations and Coherence Analysis. In: 2025 International Russian Automation Conference (RusAutoCon); 2025. doi:10.1109/RusAutoCon65989.2025.11177441.

14. Zaytsev A., Dmitriev N., Konnikov E. Integration of Event-Driven Modeling and Stochastic Optimization Within Control Frameworks of

Regional Energy Systems. In: 2025 International Russian Automation Conference (RusAutoCon); 2025. doi:10.1109/RusAutoCon65989.2025.11177371.

15. Zaytsev A., Dmitriev N. Automated Collection and Processing of Spatiotemporal Data for the Analysis of Sustainable Development in Industrial Systems. In: 2025 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon); 2025. DOI: 10.1109/SmartIndustryCon65166.2025.10986205.

\* \* \*

### **Conflict-Resistant Graph-Based Modeling of Technical System Risks from Weakly Structured Information for Decision Support**

*E. A. Konnikov*, PhD in Economics, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

*N. D. Dmitriev*, PhD in Economics, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

*P. A. Polyakov*, Laboratory Assistant, NIL "Polytech-Invest," Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

*This paper develops and validates a conflict-resistant method for scenario-based risk assessment of technical systems using weakly structured event reports. The proposed approach integrates an event-oriented directed graph, the Dempster–Shafer theory of evidence, and monitoring of temporal non-stationarity of graph edges. The method jointly estimates the risk interval, conflict between evidence sources, and the amount of ignorance, thereby improving the transparency of expert interpretation and reducing the likelihood of erroneous scenario prioritization. The scientific contribution lies in a coherent use of these dimensions within an inference procedure in which uncertainty is kept explicit and treated as a quantitative indicator of data quality. Empirical validation is performed on data from the U.S. Nuclear Regulatory Commission.*

*A total of 1,474 event records for 2002–2025 are analyzed. During preprocessing, terminology is normalized, severity classes are harmonized, and entities forming cause-and-effect transitions are extracted. The resulting conflict graph includes 624 vertices and 804 directed arcs. For priority scenarios, interval risk estimates are derived using belief and plausibility measures. For arcs, indicators of accumulated conflict and structural drift are computed in 180-day sliding windows. The results show that frequent evidence inconsistency concentrates in transitions to severe consequences, whereas drift dynamics exhibit a clustered pattern with alternating stable and transitional phases. Practical relevance is associated with a reproducible decision-support procedure.*

*Across all windows, 151 drifting windows out of 1,404 (10.75%) are identified, and 44 non-stationary links out of 208 (21.15%) are detected. Risk intervals support operational prioritization of actions, conflict measures support source verification, and drift indicators support routine updating of the safety model. The method can be adapted to other high-risk engineering domains characterized by incomplete and heterogeneous data.*

**Keywords:** scenario-based risk assessment; evidence conflict; explicit uncertainty; directed event graph; Dempster–Shafer theory of evidence; link structural drift; scenario prioritization; safety management.

Получено: 17.02.26

**Образец цитирования**

Конников Е. А., Дмитриев Н. Д., Поляков П. А. Конфликтно-устойчивое графовое моделирование рисков технических систем по слабоструктурированной информации для поддержки принятия решений // Интеллектуальные системы в производстве. 2026. Т. 24, № 1. С. 43–51. DOI: 10.22213/2410-9304-2026-1-43-51.

**For Citation**

Konnikov E.A., Dmitriev N.D., Polyakov P.A. [Conflict-Resistant Graph-Based Modeling of Technical System Risks from Weakly Structured Information for Decision Support]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2026, vol. 24, no. 1, pp. 43-51 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2026-1-43-51.