

прикладных и экстремальных видов спорта. – 2012. – № 2(24). – С. 10-14.

3. Ушаков И.Б., Поляков А.В., Усов В.М. Инженерия знаний рисков здоровью космонавта, основанная на каскадной схеме защиты организма для лиц опасных профессий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13, №. 1-7. – С. 1812-1815.

---

**Иконников А.С., Сафонов А.И.**

**Применение дополненного аппарата сетей Петри для моделирования технологического процесса анализа взаимного влияния измеряемых ВИКС физических величин**

**Аннотация:** В работе выполнено обоснование выбора микросервисной архитектуры для составления современного программного обеспечения, использующего возможности искусственных нейронных сетей. Предложено технологические процессы работы микросервисов, классифицируемых как системы преобразования данных, моделировать и описывать при помощи графического аппарата сетей Петри. Представлены примеры такого моделирования.

**Ключевые слова:** сети Петри, контактная сеть, визуализация данных, технологический процесс, программное обеспечение, ВИКС, диагностика, микросервисы

Передовые информационные системы управления (ИСУ) предназначены для поэтапного решения большого количества взаимосвязанных инженерных задач. Эргономичные оболочки [1] такие системы, как правило, получают не на этапе моделирования, а в процессе сопровождения после внедрения в промышленную эксплуатацию. Это связано с учетом пользовательского опыта (*User eXperience, UX*), раскрывающегося при обучении пользователей и учете пожеланий продвинутых пользователей. Наращивание состава сервисных функций для продвинутых пользователей в ИСУ

происходит и за счет интеграции алгоритмов, реализующих современные расчетные методы, и регулярной миграции на современные информационные технологии (ИТ) [2], в частности, для создания интеллектуальных систем управления [3], базирующихся на применении искусственных нейронных сетей. Именно стремительное развитие упомянутых ИТ обуславливает переход разработчиков от традиционных, монолитных решений к гибким и масштабируемым микросервисам [4, 5], лежащим в основе цифровизации транспортной отрасли.

Интенсивная цифровизация транспортной отрасли связана со внедрением большого количества ИСУ, направленных на повышение эффективности протекания практически всех стандартизованных технологических процессов (ТП). ТП четвертой эпохи индустриализации [6] принципиально опираются на результаты анализа больших данных (*BigData*) на этапах выработки эффективных управленческих решений.

Авторами в рамках программы цифровой трансформации ОАО «РЖД» и выполнения государственного задания ведется разработка ИСУ, предназначенный для повышения уровня функциональной безопасности активов предприятия посредством интеллектуального планирования своевременной диагностики элементов инфраструктуры, подверженных деградации при эксплуатации [7].

Изучение публикаций, посвященных актуальным проблемам деградации объектов железнодорожной инфраструктуры, показало, что наиболее уязвимыми звенями являются элементы пути, а также контактной сети (КС) [7, 8]. Особенно уязвимыми являются элементы КС, смонтированной на участках магистральных железных дорог с интенсивным движением поездов, в частности, на обособленных участках «городской электрички» [4, 9], где интенсивность движения поездов достигает предельных значений.

Поиск способов графического моделирования ТП заставил обратить внимание на сети Петри [10], предложенные для описания и анализа дискретных параллельных систем; для моделирования асинхронных информационных потоков в системах преобразования данных. Последние, в том числе и микросервисы, принципиально состоят из оболочки и базы данных.

Дополненный аппарат сетей Петри, предложенный в [11], удобен для составления карты ТП работы микросервиса. Аппарат

прошел апробацию на одном из заседаний кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта в 2025 году, вызвал бурный интерес у коллег, высказавших рекомендации о замене термина «устойчивое состояние» на просто «состояние». Авторы согласились с замечанием и далее используют термин «состояние». Аппарат включает три категории вершин графа:

- «*p*» – «*prompt*» (побуждение) – события, происходящие в системе (их рекомендовано не маркировать «фишками»);
- «*s*» – «*state*» (состояние) – положения, в которых система пребывает некоторое время, причем длительность пребывания не имеет значения (рекомендовано маркировать «фишками» в виде закрашенных кругов);
- «*e*» – «*effect*» (эффект) – группа действий, происходящих как следствие активации «*t*» – «*transition*» (перехода); переходы рекомендовано маркировать «фишками» в виде закрашенных квадратов.

«Переход» – это горизонтальная или вертикальная «площадка», представляющая собой «барьер», препятствующий возникновению «эффекта» и покиданию текущего «состояния». «Переходы» в дополненном аппарате сетей Петри – визуальная, а не функциональная составляющая, как это принято в классической модели. В предложенной модели «переходы» срабатывают по совокупности «событий» в контексте «состояния», в то время, как в классической модели «переход» выступает в качестве, собственно, «события» по свершении которого происходит смена «состояния», сопровождаемая переносом «фишек».

Обобщение дополненного аппарата сетей Петри [11] так же предусматривает возможность переноса «фишек» между «состояниями», однако выглядит карта ТП при этом сильно перегруженной и требует послойного рассмотрения. Послойное изображение требует центрирования контекстов модифицированных «состояний» на каждом слое (если примененный «эффект» не переводит систему в новое «состояние», а возвращает в текущее при выполнении изменений, то исходное «состояние» считается модифицированным).

**Абстрактный пример:** в исходном «состоянии» *s1.0* численный результат отсутствует на экранной форме (ЭФ) программы. Для выдачи команды, приводящей к вычислению результата, на ЭФ

предусмотрена первая экранная кнопка (ЭК1). «Событие», связанное с нажатием на ЭК1, в контексте отсутствия на ЭФ какого-либо результата, активирует «переход», приводящий к применению первого «эффекта» (*e1*). В процессе применения *e1* результат вычисляется согласно запланированному правилу и выводится на ЭФ. Вместе с результатом *e1* передает *s1.0* две круглых «фишки», после чего оно становится модифицированным (*s1.1*). Повторный расчет результата без перезапуска программы допускается, но для этого требуется «обнуление» (сброс) полученного результата по нажатии на вторую экранную кнопку (ЭК2). Событие, связанное с нажатием на ЭК2 в контексте наличия результата на ЭФ, приводит к применению второго «эффекта» (*e2*), в процессе чего результат стирается с ЭФ и *s1.1* по применении *e2* получает одну круглую «фишку», отчего вновь становится *s1.0*.

Так, карту ТП для рассмотренного абстрактного примера рекомендовано изображать в виде двух слоев (двух иллюстраций), на одном из которых *s1.0* содержит одну круглую «фишку», на другом *s1.1* – две таковых. В контексте *s1.0* не рассматривается и даже не упоминается возможность нажатия на ЭК2; указывается возможность нажатия только на ЭК1. В контексте *s1.1* не рассматривается вычисление результата; указывается возможность только нажатия на ЭК2.

Дополненный аппарат сетей Петри позиционируется авторами как гибкая графическая модель, в которой благодаря содержимому легенды сети и сформулированному описанию к ней раскрываются дополнительные технологические возможности, которые необходимо учитывать лицам, ответственным за составление карт ТП.

**Реальный пример:** на рисунке 1 заявленная гибкость модели продемонстрирована посредством изображения ТП анализа взаимного влияния измеряемых вагоном испытания контактной сети (ВИКС) физических величин схемой, в которой намеренно проигнорирована возможность послойного рассмотрения «состояний»: *s1.0*, *s1.1*, *s1.2* (исходного и двух модифицированных). Так возникает информационная перегрузка схемы за счет указания возле ребер графа, отвечающих за активацию переходов, тех же сочетаний «фишек», что для *s1.0*, *s1.1*, *s1.2*.

Чтение Рисунка 1 начинается от «Истока». Предполагается, что в микросервис некоторым (на важно каким) образом передаются статистические данные, после чего он переходит в  $s1.0$  (готовности к обработке данных). Из множества загруженных данных фильтруются только указанные в качестве первой ( $v1$ ) и второй ( $v2$ ) измеряемой ВИКС физической величины (таблица гипотез о взаимном влиянии физических величин, измеряемых ВИКС, представлена в [7]). Если данные согласно  $v1$  и  $v2$  отфильтрованы и выдана команда на их анализ, то в соответствии с применением «эффекта» ( $e1$ ) происходит расстановка признаков исправности ( $fT$ ) / неисправности ( $fF$ ) КС для каждой пары значений и следом  $s1.0$  меняется на  $s1.1$  – экранный список заполняется и обновляется с отображением значений  $v1$  и  $v2$  с  $fT/fF$ . В  $s1.1$  недоступен выбор фильтров и пересчет  $fT/fF$ , но имеется возможность выдачи команды на запись результата в текстовый файл. Запись в текстовый файл значений происходит «с зашумлением» в рамках применения «эффекта» ( $e2$ ), позволяющим приблизить ситуацию к реальной, когда при некотором численном сочетании параметров КС должна быть исправна, но на деле выставлен  $fF$  и, наоборот, когда сочетание параметров свидетельствует о неисправности КС, но реально  $-fT$ .

После применения  $e2$  микросервис переходит в  $s1.2$ , откуда по мере выдачи соответствующей команды оператором может быть совершен переход в совершенно другое «состояние»  $s2$ , где возможна визуализация данных в элементе управления «chart» на ЭФ. Контекст рассмотрения  $s2$  остается за рамками сети Петри, заключенной между «Истоком» и «Стоком» (рисунок 1).

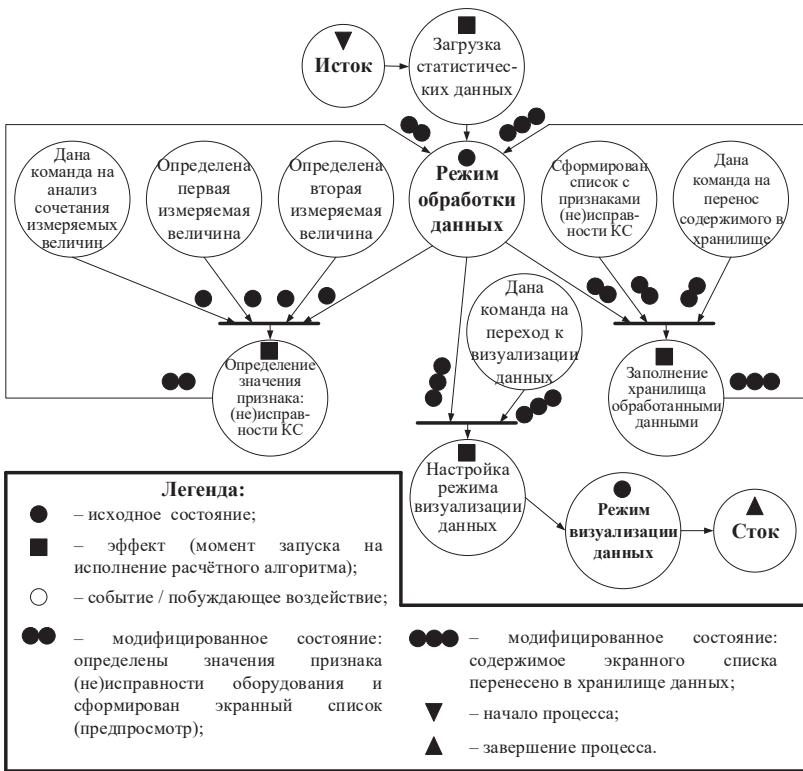


Рисунок 1 – Пример карты ТП работы микросервиса

В рамках изложенного в статье этапа работ авторами создан и отложен микросервис, предназначенный для анализа и визуализации сочетаний физических величин, измеряемых ВИКС, и составлена карта ТП в нотации дополненного аппарата сетей Петри. В дальнейшем планируется масштабирование микросервиса за счет интеграции в него сервисных функций для регрессионного анализа.

#### Благодарности

*Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках государственного задания от 20.03.2025 № 103-00001-25-02*

**Литература:**

1. *Сафонов А.И.* Способы проектирования эргономичных графических пользовательских интерфейсов для интеллектуальных транспортных систем // Интеллектуальные транспортные системы. – М.: РУТ, 2024. – С. 385-394.
2. *Сидоренко В.Г., Сафонов А.И., Филипченко К.М., Чжо М.А.* Применение современных технологий программирования к автоматизации планирования движения поездов метрополитена // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 331-347.
3. *Баранов Л.А., Сафонов А.И., Сидоренко В.Г.* Развитие интеллектуальных систем управления электрическим транспортом // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 10. – С. 30-32.
4. *Иконников А.С., Сафонов А.И.* Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения информационной безопасности с целью определения направлений развития интеллектуальных транспортных систем на магистральных железных дорогах / Интеллектуальные транспортные системы IV. – М.: РУТ, 2025. – С. 726-734.
5. *Сафонов А.И., Иконников А.С.* Микросервисный подход к интеллектуальному анализу данных, получаемых от городских рельсовых транспортных систем / Интеллектуальные транспортные системы III. – М.: РУТ, 2024. – С. 420-428.
6. *Сафонов А.И., Борцов Ю.Д.* Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения информационной безопасности с целью определения направлений развития интеллектуальных транспортных систем на трамвайных сетях / Интеллектуальные транспортные системы IV. – М.: РУТ, 2025. – С. 706-716.
7. *Иконников А.С., Сафонов А.И.* Интеллектуальная автоматизированная система прогнозирования износа контактной сети на электрифицированных полигонах магистральных железных дорог // Электротехника. – 2025. – № 9. – С. 66-73.
8. *Бутенко Е.А., Смердин А.Н., Павлов В.М.* Совершенствование методики экспериментального определения натяжения проводов контактной сети на испытательном полигоне / Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: материалы научной конференции, посвященной Дню Российской науки. – Омск: ОмГУПС, 2021. – С. 89-94.

9. Сафонов А.И., Горковец А.С., Ермакова А.Е. Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения информационной безопасности с целью определения направлений развития интеллектуальных транспортных систем на городской электричке / Интеллектуальные транспортные системы IV. – М.: РУТ, 2025. – С. 717-725.
10. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
11. Сафонов А.И. Применение дополненного аппарата сетей Петри для моделирования процесса автоматизированного построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена / Проблемы управления безопасностью сложных систем XXXII. – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 433-439.
- 

**Клименко Ю.А., Преображенский А.П., Тихонов И.А.**

### **Моделирование системы безопасности умного дома**

**Аннотация:** В работе представлена модель умного дома, на основе которой можно дать оценку его степени защищенности. Представлены численные значения показателя риска нарушения конфиденциальности информации. Приведен типовой сценарий функционирования системы.

**Ключевые слова:** умный дом, защищенность, риск, система, модель

В настоящее время «Умный дом» можно рассматривать в виде весьма востребованных и широко распространенных примеров внедрения IoT-решений. внутри него объединяются разнообразные устройства в единую сеть, которая управляется удаленно с использованием интернет-соединения [1]. При этом данные в системе могут быть привлекательными целями для киберпреступников. Устройства, входящие в систему «Умного дома», могут собирать и хранить чувствительную информацию, такую как аудио-, видеоданные, координаты местоположения и