

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ VANET С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NDN- АРХИТЕКТУРЫ

*Лазарев Амир Пишембаевич*

*Ташкентский университет информационных  
технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, ассистент  
[amirlazarev@gmail.com](mailto:amirlazarev@gmail.com)*

*Шахобиддинов Алишер Шопатхиддинович*

*Ташкентский университет информационных  
технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, начальник управления  
[a.shakhobiddinov@tuit.uz](mailto:a.shakhobiddinov@tuit.uz)*

Современные сети транспортных средств (Vehicular Ad-hoc Networks, VANET), выступающие базовым коммуникационным слоем интеллектуальных транспортных систем (ITS), функционируют в условиях высокой мобильности узлов и непрерывно изменяющейся топологии, что приводит к частым разрывам соединений, нестабильности маршрутов и существенным колебаниям параметров канала связи. Дополнительным осложняющим фактором является высокая плотность транспортных потоков, вызывающая перегрузку беспроводной среды, рост коллизий и деградацию показателей качества обслуживания, таких как задержка и вероятность успешной доставки пакетов. В рамках традиционной IP-ориентированной модели, основанной на адресации узлов и установлении сквозных маршрутов, указанные особенности приводят к снижению эффективности маршрутизации и увеличению накладных расходов на поддержание сетевой связности. Это обуславливает необходимость поиска альтернативных сетевых парадигм, способных обеспечить устойчивую передачу данных в условиях высокой динамики. В данном контексте всё большее внимание привлекает архитектура именованных данных (Named Data Networking, NDN), реализующая контент-ориентированный подход, при котором ключевым объектом взаимодействия является не узел-источник, а непосредственно запрашиваемые данные. Такой подход позволяет повысить устойчивость коммуникаций, оптимизировать использование сетевых ресурсов и обеспечить более эффективное распространение информации в VANET-среде.

Ниже на рисунке 1 приведена архитектура VANET с использованием NDN.

В данной архитектуре транспортное средство рассматривается как NDN-узел, в структуре которого функционируют три базовых компонента: Content Store (CS) для кэширования данных, Pending Interest Table (PIT) для хранения ожидающих запросов и Forwarding Information Base (FIB) для выбора направления пересылки. Обмен данными осуществляется не по IP-адресам

**(13th international scientific and practical conference)**

узлов, а по именам контента через модель Interest/Data. Передача информации реализуется как по каналу V2V между автомобилями, так и по каналу V2I через придорожную инфраструктуру RSU, которая может выполнять функции шлюза между NDN- и IP-сегментами сети. Это позволяет повысить устойчивость доставки данных, сократить избыточные передачи и обеспечить поддержку гибридной архитектуры VANET.

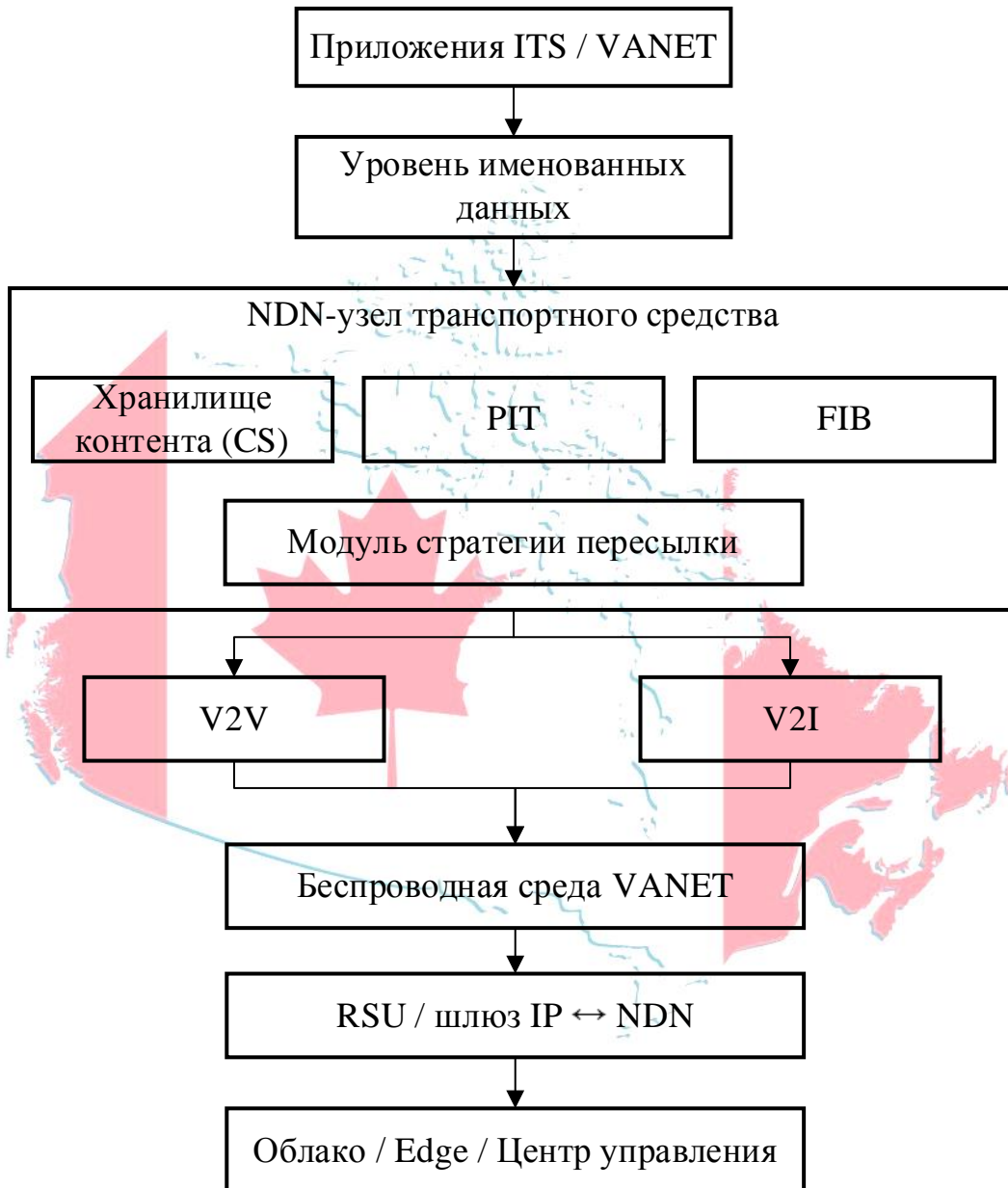


Рисунок 1. Архитектура VANET с использованием NDN

Несмотря на значительный потенциал архитектуры именованных данных для применения в сетях VANET, её использование сопряжено с рядом специфических проблем, обусловленных особенностями высокодинамичной транспортной среды. В частности, широковещательный характер

распространения Interest-пакетов приводит к эффекту избыточной нагрузки, увеличению числа коллизий и перегрузке канала. Ограниченные ресурсы кеширования в узлах снижают эффективность хранения и повторного использования данных при высокой скорости изменения топологии. Дополнительно возникают трудности с управлением таблицей ожидающих запросов (PIT), размер которой может быстро расти при интенсивном трафике, что приводит к увеличению задержек и потере пакетов.

Для повышения устойчивости функционирования сети предлагается усовершенствованный механизм управления таблицей ожидающих запросов PIT, учитывающий специфику высокодинамичной среды VANET и интенсивный характер генерации Interest-пакетов, который представлен на рисунке 2. В отличие от классического подхода, в котором записи PIT хранятся до получения соответствующего пакета данных или истечения фиксированного времени жизни, предлагаемый механизм реализует адаптивное управление жизненным циклом записей на основе текущего состояния сети.

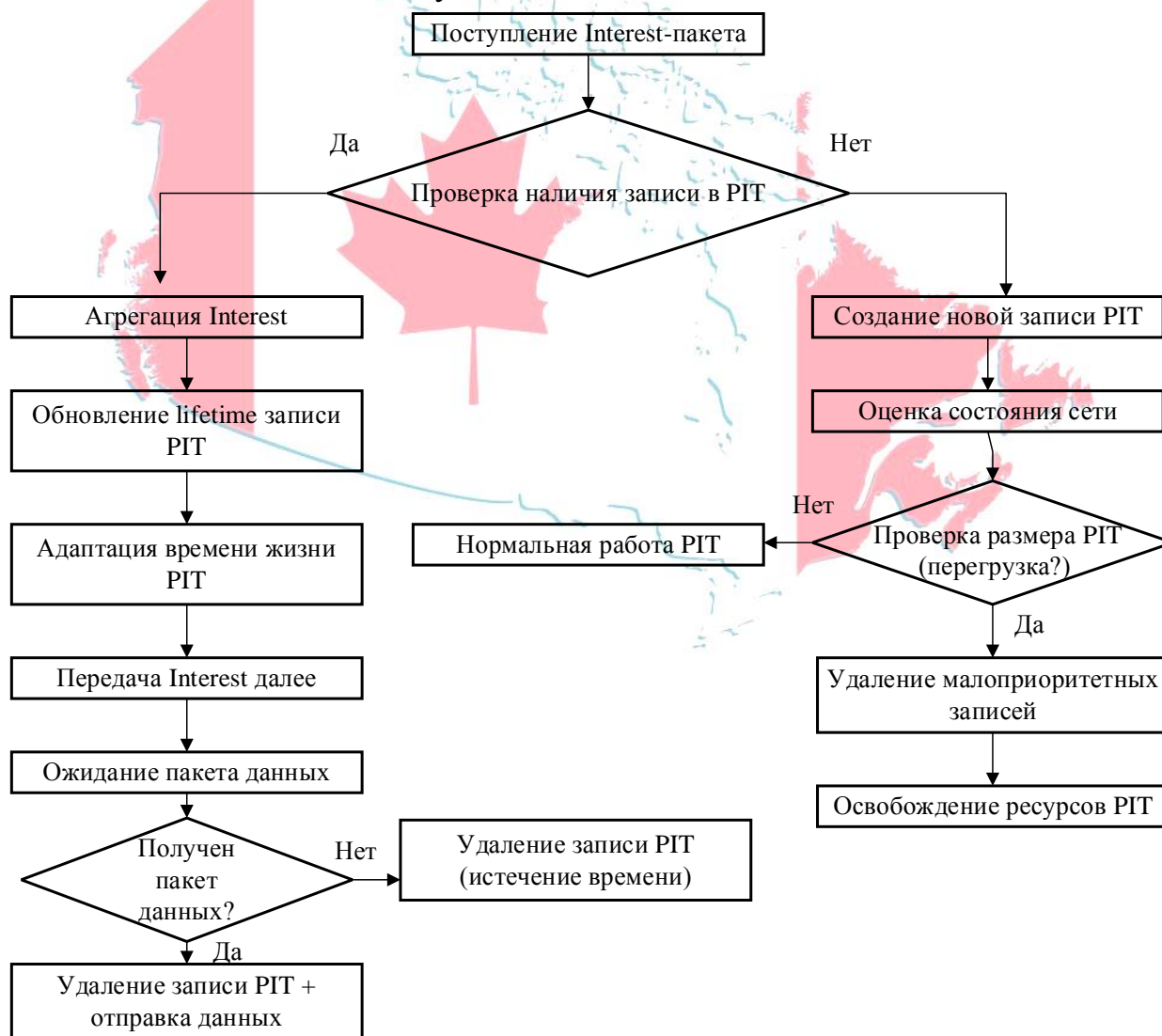


Рисунок 2. Блок-схема адаптивного управления PIT

Представленный механизм реализует адаптивное управление таблицей ожидающих запросов (PIT) в NDN-VANET за счёт динамического регулирования времени жизни записей, агрегирования Interest-пакетов и контроля размера таблицы. В зависимости от текущего состояния сети (плотности узлов, загрузки канала и задержки) осуществляется адаптация параметров хранения записей и применение стратегии раннего удаления малоприоритетных записей. Это позволяет снизить вероятность перегрузки PIT, уменьшить избыточный трафик и повысить эффективность доставки данных.

Современные исследования в области NDN-VANET подтверждают как перспективность контент-ориентированного подхода, так и наличие существенных ограничений, связанных с управлением состоянием сети. Ранние работы показали, что использование модели Interest/Data и stateful forwarding позволяет повысить устойчивость доставки данных и эффективно использовать множественные маршруты в условиях динамичной топологии [1,2]. Однако последующие исследования выявили, что широковещательный механизм распространения Interest-пакетов в плотных транспортных сценариях приводит к эффекту broadcast storm, увеличению числа коллизий и быстрому переполнению таблицы PIT [3,4]. В частности, атаки типа Interest Flooding демонстрируют, что насыщение PIT может существенно деградировать производительность сети и ограничивать обработку новых запросов [5]. Для решения данных проблем предлагаются различные подходы, включая контекстно-зависимые стратегии пересылки, позволяющие снизить избыточные передачи и нагрузку на канал [6], а также адаптивные механизмы управления PIT, учитывающие параметры сети, такие как задержка, плотность узлов и коэффициент удовлетворения запросов [7]. Кроме того, современные работы предлагают вероятностные и плотностно-ориентированные стратегии кэширования, повышающие эффективность использования ресурсов и устойчивость сети при изменении топологии [8]. Тем не менее, как отмечается в ряде исследований, существующие решения либо используют статические параметры, либо не учитывают совокупное влияние нагрузки, мобильности и структуры трафика, что ограничивает их эффективность в реальных VANET-сценариях. В этой связи предложенный в данной работе адаптивный механизм управления PIT, основанный на комплексной оценке состояния сети и динамической настройке параметров обработки Interest-запросов, является логическим развитием существующих подходов и направлен на устранение выявленных ограничений.

Проведённый логико-алгоритмический анализ направлен на выявление причинно-следственных зависимостей между параметрами функционирования

**(13th international scientific and practical conference)**

NDN-VANET и поведением PIT, а также на оценку влияния предложенного механизма на ключевые показатели сети. В классической архитектуре NDN обработка Interest-пакетов осуществляется по принципу “запрос–ответ”, при котором каждая новая запись в PIT создаётся для уникального Interest-запроса и сохраняется до получения соответствующего Data-пакета либо до истечения фиксированного времени жизни. В условиях высокой плотности транспортных узлов и интенсивного обмена сообщениями это приводит к лавинообразному росту числа записей в PIT, что, в свою очередь, увеличивает нагрузку на вычислительные ресурсы узла, повышает вероятность коллизий и приводит к увеличению задержек обработки запросов.

В предлагаемом механизме реализуется адаптивный алгоритм управления PIT, включающий несколько взаимосвязанных этапов обработки. На этапе поступления Interest-пакета осуществляется проверка наличия соответствующей записи в PIT. В случае совпадения выполняется агрегирование запросов путём добавления входящего интерфейса к существующей записи, что позволяет исключить избыточную генерацию дублирующих Interest-пакетов. При отсутствии записи инициируется её создание с последующей адаптацией времени жизни на основе текущих параметров сети, таких как плотность узлов, уровень загрузки канала и средняя задержка доставки данных.

Таким образом, предложенный алгоритм управления PIT формирует замкнутую систему адаптивного регулирования, в которой параметры обработки Interest-запросов динамически подстраиваются под текущее состояние сети. Это позволяет обеспечить стабильное функционирование NDN-VANET в широком диапазоне нагрузок и плотностей транспортных узлов, что является критически важным для приложений интеллектуальных транспортных систем.

### **Заключение**

Таким образом, в работе показано, что традиционные подходы к реализации NDN в VANET не в полной мере учитывают высокодинамичный характер транспортной среды, что приводит к перегрузке таблицы PIT и снижению эффективности передачи данных. Предложенный адаптивный механизм управления PIT, основанный на учёте плотности узлов и состояния канала связи, обеспечивает снижение избыточного трафика, ограничение роста таблицы и повышение устойчивости сетевого взаимодействия. Полученные результаты демонстрируют, что применение адаптивных алгоритмов в рамках NDN-архитектуры позволяет повысить вероятность успешной доставки данных и снизить задержки, что является критически важным для приложений интеллектуальных транспортных систем. В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию методов машинного

обучения и проведение имитационного моделирования для количественной оценки предложенного подхода.

### **Список использованных литератур**

1. L. Zhang, A. Afanasyev, J. Burke et al., “Named Data Networking,” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 44, no. 3, pp. 66–73, 2014.
2. A. Afanasyev, I. Moiseenko, and L. Zhang, “ndnSIM: NDN simulator for NS-3,” Technical Report NDN-0005, NDN Project, 2012.
3. M. Amadeo, C. Campolo, and A. Molinaro, “Information-centric networking for connected vehicles: a survey and future perspectives,” IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 2, pp. 98–104, 2016.
4. M. Amadeo, C. Campolo, and A. Molinaro, “Enhancing content-centric networking for vehicular environments,” Computer Networks, vol. 57, no. 16, pp. 3222–3234, 2013.
5. A. Compagno, M. Conti, P. Gasti, and G. Tsudik, “Poseidon: Mitigating Interest Flooding DDoS Attacks in Named Data Networking,” Computer Networks, vol. 57, no. 12, pp. 2707–2716, 2013.
6. S. Ahmed, S. H. Bouk, and D. Kim, “Content-centric networking in vehicular ad hoc networks: a survey,” IEEE Access, vol. 5, pp. 22497–22512, 2017.
7. W. Shang, Z. Wang, A. Afanasyev, J. Burke, and L. Zhang, “Named Data Networking of Things (NDNoT),” IEEE IoT Journal, vol. 6, no. 1, pp. 134–146, 2019.
8. Y. Li, X. Wang, D. Jin, and S. Chen, “Caching in information-centric networking: a survey,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 3, pp. 1719–1745, 2018.