

**Кокурина Дарья Игоревна**, студентка 2 курса магистратуры института экономики и управления АПК, ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А.

Тимирязева,

Научный руководитель: **Демичев Вадим Владимирович**, к.э.н., доцент, доцент кафедры статистики и кибернетики, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А.

Тимирязева

## **АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ**

**Аннотация.** Актуальность данной работы заключается в сезонной изменчивости сетевой нагрузки: от высокоточных RTK-сигналов весной до массивов IoT-данных летом и логистических потоков осенью. В среде NS-3 разработана модель динамической приоритизации, учитывающая текущую фазу агроцикла. Установлено, что предложенный алгоритм сокращает потери критически важных пакетов на 37–42% по сравнению со стандартными методами.

**Ключевые слова:** Агроцикл, NS-3, приоритизация трафика, RTK, интернет вещей (IoT).

**Annotation.** The relevance of this work lies in the seasonal variability of network load: from high-precision RTK signals in spring to arrays of IoT data in summer and logistical flows in autumn. The NS-3 environment has developed a dynamic prioritization model that takes into account the current phase of the agro-cycle. It has been found that the proposed algorithm reduces the loss of critical packets by 37-42% compared to standard methods.

**Key words:** *Agrocycle, NS-3, traffic prioritization, RTK, Internet of Things (IoT).*

Фундаментальное отличие агропромышленного комплекса от других отраслей заключается в его ярко выраженной сезонности. Весной, во время сева, первостепенное значение имеет бесперебойная доставка RTK-поправок для систем высокоточного позиционирования [1]. Летом фокус смещается на сбор данных с полевых сенсоров для мониторинга вегетации. Осенью, в период уборочной кампании, критически важной становится координация логистических операций [2]. Стандартные сетевые конфигурации не способны эффективно справляться с такими динамическими изменениями, что и определяет актуальность данного исследования [3].

На основе анализа документации производителей (Topcon, Trimble) и спецификаций протоколов (LoRaWAN, NB-IoT) были определены характеристики трафика. RTK-поправки генерируются с частотой  $\sim 1$  Гц и размером 500–800 байт. Телеметрические пакеты имеют размер 30–120 байт и отправляются каждые 15–60 минут. GPS-трекеры передают данные каждые 30–60 секунд. Эти данные легли в основу трех профилей нагрузки, соответствующих весенней, летней и осенней фазам агроцикла [4].

Для верификации алгоритмов была создана модель в среде NS-3, включающая 200 узлов (50 навигационных, 100 IoT, 50 логистических), базовую станцию с настраиваемыми очередями и каналы связи с пропускной способностью 2–10 Мбит/с [5]. Моделирование проводилось для трех сценариев, имитирующих сезонные изменения в структуре трафика (рисунок 1).

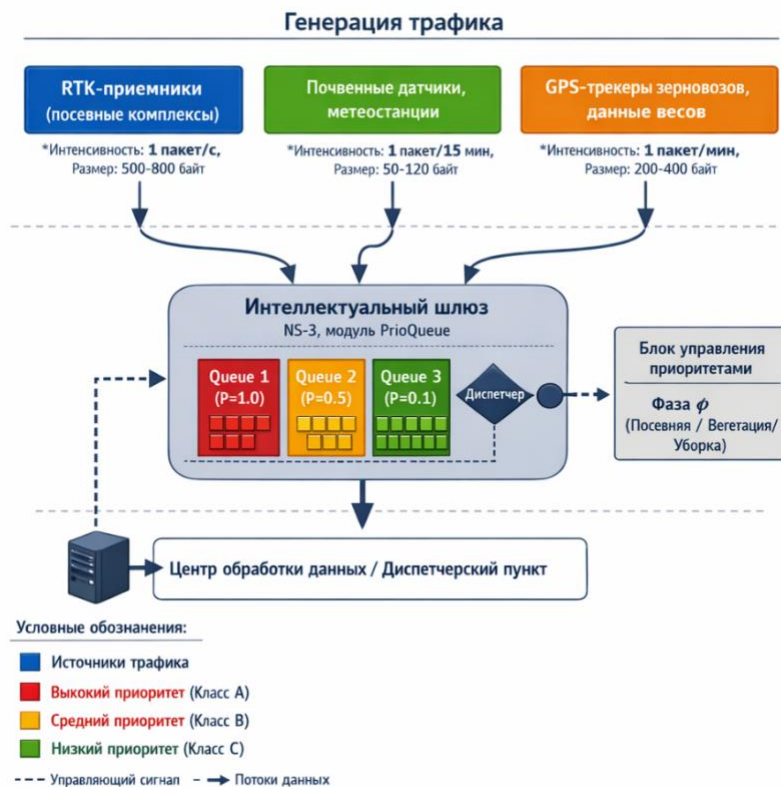


Рисунок 1 – Схема имитационной модели в среде NS-3

Для аналитической оценки использовался аппарат теории массового обслуживания (ТМО). Система рассматривалась как модель M/G/1 с относительными приоритетами, что позволило рассчитать теоретическое время ожидания пакетов. Приоритет в адаптивном алгоритме вычислялся по формуле:

$$P = k(\varphi) \times \frac{W_i}{S} \times T_{wait}$$

где:  $k(\varphi)$  – экспертно заданный коэффициент сезонной значимости,  $W_i$  – базовый весовой коэффициент типа данных,  $S$  – размер пакета,  $T_{wait}$  – время ожидания пакета в очереди (для предотвращения "голодания").

Коэффициенты  $k(\varphi)$  были определены для каждой фазы:

Посевная ( $\varphi=1$ ): RTK-навигация ( $k=1.0$ ), телеметрия ( $k=0.3$ ), фон ( $k=0.1$ ).

Vegetация ( $\varphi=2$ ): IoT-данные ( $k=1.0$ ), команды ( $k=0.4$ ), видео ( $k=0.2$ ).

Уборка ( $\varphi=3$ ): Логистика ( $k=1.0$ ), голос ( $k=0.5$ ), отчеты ( $k=0.15$ ).

В ходе имитационного моделирования были получены количественные характеристики структуры трафика и эффективности его обработки при различных подходах к управлению очередями (таблица 1).

Таблица 1

### Структура трафика в различные фазы агроцикла

Тип трафика	Посевная ( $\varphi = 1$ )	Вегетация ( $\varphi = 2$ )	Уборка ( $\varphi = 3$ )
РТК/навигация	68,4%	7,8%	5,3%
Данные IoT-сенсоров	8,2%	55,3%	18,9%
Видеопотоки	12,1%	19,4%	16,2%
Логистические данные	4,5%	7,6%	48,1%
Голосовая связь	2,3%	6,1%	5,0%
Служебный трафик	4,5%	6,1%	6,5%

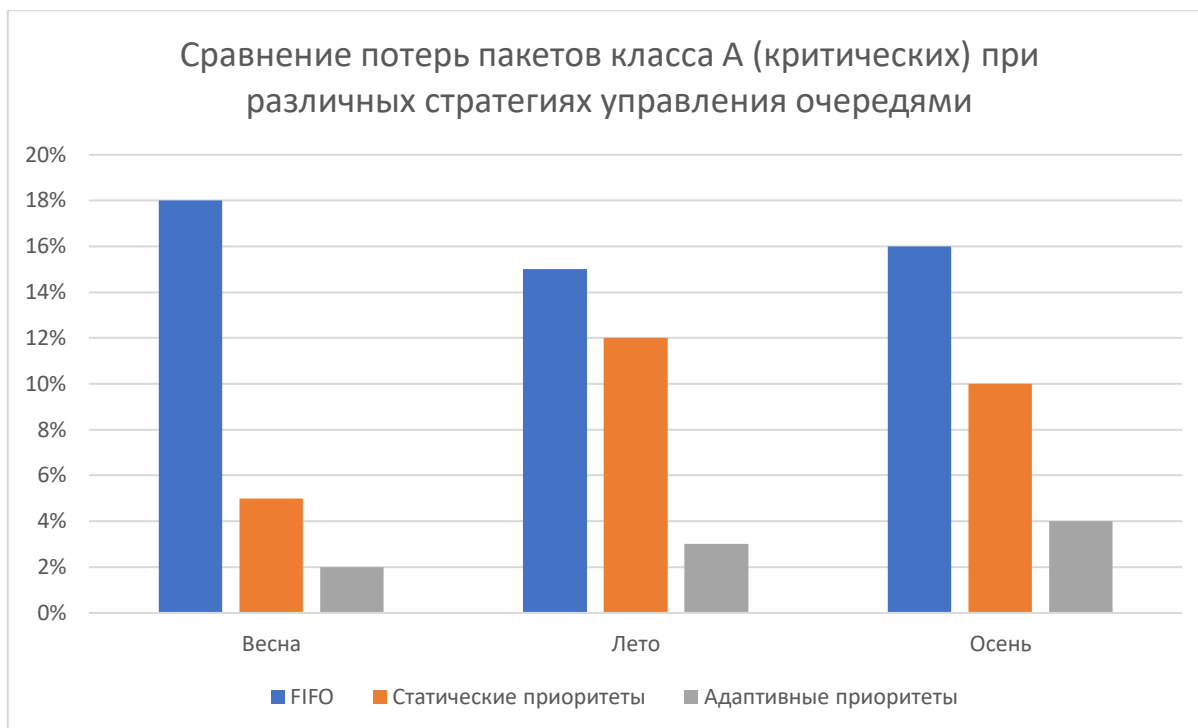
Анализ таблицы 1 подтверждает, что структура трафика радикально трансформируется в зависимости от сезона. Весной доминирует навигационный трафик (68,4%), генерируемый посевными комплексами и требующий направления Downlink (от базовой станции к технике). Летом основная нагрузка смещается на передачу данных от IoT-сенсоров (55,3%) в направлении Uplink. Осенью лидируют логистические данные (48,1%), причем трафик становится более симметричным.

Таблица 2

### Требования к качеству обслуживания, заложенные в модель

Показатель качества	Посевная	Вегетация	Уборка
Максимальная задержка для класса А (мс)	50	500	150
Средняя загрузка канала Uplink (Mbps)	1.8	8.4	4.2
Средняя загрузка канала Downlink (Mbps)	4.2	1.5	2.8
Доля критического трафика (класс А)	68%	55%	48%

Таблица 2 демонстрирует, что посевная требует минимальных задержек (до 50 мс), что обусловлено чувствительностью РТК-протоколов к джиттеру. Летом требования к задержкам снижаются, но резко возрастает нагрузка на Uplink. Осенью требуется сбалансированный режим с гарантированной доставкой логистических пакетов.



**Рисунок 2 – Сравнение потерь пакетов класса А (критических) при различных стратегиях управления очередями**

Сравнительный анализ стратегий управления очередями (рисунок 2) показал, что адаптивная приоритизация (Adaptive PRIO) значительно превосходит как базовую стратегию FIFO, так и статическую приоритизацию (Static PRIO). Потери пакетов класса "А" при использовании адаптивного подхода сократились в среднем на 39% по сравнению со статической моделью и на 73% – по сравнению с FIFO.

Полученные данные доказывают, что статическая конфигурация сетевого оборудования не способна эффективно обслуживать агропредприятия из-за трех-четырёхкратных сезонных колебаний структуры трафика. Предложенный адаптивный алгоритм, который переключает фокус с RTK-данных на телеметрию и логистику в зависимости от сезона, является простым и экономически эффективным решением. Его можно реализовать на базе стандартных сетевых контроллеров. Основным ограничением является потребность в начальной калибровке коэффициентов под конкретное хозяйство.

Выявлена гетерогенность трафика: навигация (68% весной), IoT (55% летом), логистика (48% осенью). Статические настройки приводят к

критическим потерям данных на уровне до 20%. Адаптивная модель снижает процент потерь до 2–4%.

### **Библиографический список**

1. Майорова М. А., Маркин М. И. Цифровое земледелие в производственно-экономической деятельности предприятий АПК // Теоретическая экономика. 2019. №2. С.67-71
2. Бурланков, П. С. Цифровая экосистема в АПК: предпосылки для создания, сущность, перспективы / П. С. Бурланков, М. И. Бовкун-Саасс // Вестник НГИЭИ. - 2024. - № 12 (163). - С. 72-81. - DOI: 10.24412/2227-9407-2024-12-72-81. - EDN: HVZUQQ.
3. Чибисова И. С. Применение информационных технологий в сельском хозяйстве России // Эпоха науки. 2018. №13. С.92-96.
4. Эльдиева Т. М. Направления использования умных инноваций в сельском хозяйстве // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. №6 (366). С.46-49
5. Абдрахманов В.Х., Важдаев К.В., Салихов Р.Б. Исследование возможности применения информационно-измерительных технологий и интернета вещей в агропромышленном комплексе // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. Т. 13. № 2. С. 85-95.