

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**СИСТЕМЫ синхронизации,
формирования и обработки
сигналов**

№3-2021 год

Главный редактор

Пестряков Александр Валентинович,

д.т.н., профессор, декан факультета Радио и Телевидения, Московский технический университет связи и информатики

Редколлегия:

Иванюшкин Роман Юрьевич,

*Branch Director (директор филиала) of the IEEE Worldwide Limited in the Russian Federation;
Chairman of Russian (Moscow) IEEE Circuits and Systems (CAS04) Chapter,
к.т.н., Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия*

Дмитриев Александр Сергеевич,

*д.ф.-м.н., профессор, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва, Россия*

Казаков Леонид Николаевич,

д.т.н., профессор, зав. кафедрой Радиотехнических систем, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

Карякин Владимир Леонидович,

д.т.н., профессор, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

Рыжков Анатолий Васильевич,

д.т.н., главный научный сотрудник, профессор, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия

Строганова Елена Петровна,

*д.т.н., профессор, Начальник Испытательной лаборатории средств связи и вещания,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия*

Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

СОДЕРЖАНИЕ

Мохаммад Навар, Воронова Л.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НЕЙРОСЕТЕВЫМ КОНСТРУКТИВНЫМ МЕТОДОМ	4
Мамедов И.Р., Исмаилов З.А., Мурад-заде Э.И. КОМПЕНСАЦИЯ ШУМОВ ПЕРЕГРУЗКИ ПРИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ СИГНАЛА ЯРКОСТИ ТВ ВЕЩАНИЯ	20
Комаров С.Н., Бузуева Н.М. ДВУХФАЗНЫЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ С МОЩНЫМ ВЫХОДОМ	26
Миронов Р.В., Сидоров К.М. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЦИФРОВОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	33
Арефьев К.В., Немчинов А.В., Толочков А.Р., Ерусланкин С.А. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ	36
Птицын Д.А., Ершов В.С., Подгорный А.В., Махмудов З.М., Акулов А.А. КОЭФФИЦИЕНТ СОХРАНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАК СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ ПРИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ	40

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НЕЙРОСЕТЕВЫМ КОНСТРУКТИВНЫМ МЕТОДОМ

Мохаммад Навар,
МТУСИ, аспирант, Москва, Россия
Nawar.info@gmail.com

Воронова Лилия Ивановна,
МТУСИ, профессор, д.ф.-м.н, зав.кафедрой ИСУиА, Москва, Россия
voronova.lilia@yandex.ru

Аннотация

Маршрутизация в сенсорных беспроводных сетях сталкивается с рядом проблем из-за характеристик, которые отличают эти сети от других беспроводных сетей. Протоколы маршрутизации должны решать эти проблемы, чтобы снизить потребление энергии и оптимизировать использование энергетических ресурсов. К настоящему времени для решения этих проблем предложен ряд алгоритмов, в том числе учитывающих кластеризацию БСС. В статье приведены результаты моделирования кластерной структуры БСС на основе матрицы радиовидимости, полученной с помощью конструктивного нейросетевого метода.

Ключевые слова

Беспроводные сенсорные сети, протоколы маршрутизации, кластеризация, нейронные сети, энерго-сбережение, сенсоры, узлы, самоорганизация.

Маршрутизация - одна из основных задач в беспроводных сенсорных сетях, связанная с нахождением оптимального пути для передачи данных от источника к получателю. В общем, необходимо учитывать ряд важных вопросов при разработке любого алгоритма маршрутизации, таких как саморегулирование, энергоэффективность, гибкость, масштабируемость, отказоустойчивость, точность и качество [1,2]. Протоколы маршрутизации для БСС можно разделить семь категорий, как показано в табл.1.

Таблица 1

Категории протоколов маршрутизации в БСС

Категория протоколов	Протоколы
Основанные на местоположении узлов	MECN, SMECN, GAF, GEAR, Span, BVGF, GeRaF
Направленные на агрегацию данных	SPIN, Directed Diffusion, Rumor Routing, COUGAR, ACQUIRE, EAD, Information-Directed Routing, Gradient-Based Routing, Energy-aware Routing, Quorum-Based Information Dissemination, Home Agent Based Information Dissemination
Иерархические	LEACH, PEGASIS, HEED, TEEN, APTEEN
Основанные на мобильности	SEAD, TTDD, Joint Mobility and Routing, Data MULES, Dynamic Proxy Tree-Base Data Dissemination
Мульти-ориентированные	Sensor-Disjoint Multipath, Braided Multipath, N-to-1 Multipath Discovery
Основанные на гетерогенности	IDSQ, CADR, CHR
Основанные на качестве обслуживания (QoS)	SAR, SPEED, Energy-aware routing

Протоколы, основанные на местоположении узлов:

Эти протоколы используют информацию о местоположении узла с помощью встроенного модуля ГЛОНАСС / GPS в операциях маршрутизации с целью достижения высокой масштабируемости. Ниже приведены наиболее активно используемые протоколы [2,3,10,11]:

Geographic Adaptive Fidelity (GAF): в этом протоколе узел полагается на информацию о своём местоположении так что вся область, покрытая сенсорной сетью, делится на квадратные решётки (рис. 1), а узлы, которые имеют наибольшую мощность в каждой сетке, становятся её главными. GAF экономит мощность узлов, отключая ненужные узлы в сети, не влияя на работоспособность процесса маршрутизации [13,14].

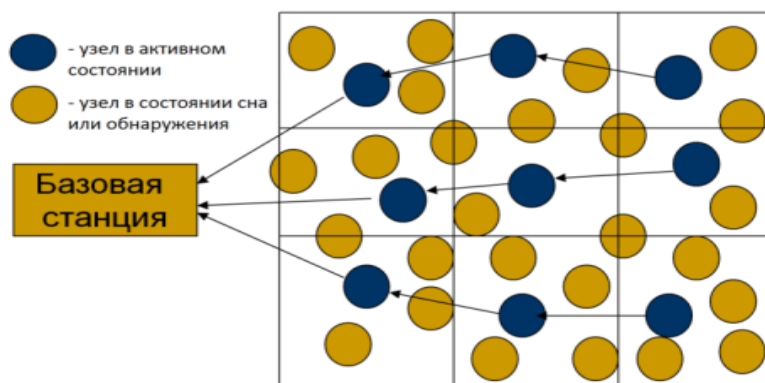


Рис. 1. Пример виртуальной решётки в GAF

Geographic and Energy-Aware Routing (GEAR): При выборе соседнего узла пакет направляется в область на основе географической информации о потребляемой мощности. Основная идея состоит в том, чтобы уменьшить количество пакетов в направленной диффузии (распространении), распределив эти пакеты в пределах определенной области, а не распространяя их по всей сети, поэтому GEAR может экономить больше энергии, чем протокол направленной диффузии [15].

Minimum Energy Communication Network (MECN): MECN вычисляет энергоэффективность подсети, когда задана сеть связи. Результирующая подсеть снижает потребление мощности связи между любыми узлами в сети, где энергия, необходимая для передачи данных от узла А всем его соседям в подграфе A1, меньше энергии, необходимой для передачи всем её соседям в графе A2 (рис. 2-а). Работа MECN основана на локальном поиске каждого узла через концепцию области реле (рис. 2-б). Область реле состоит из узлов в окружающей области, где передача через эти узлы является более энергоэффективной, чем прямая передача [16,17].

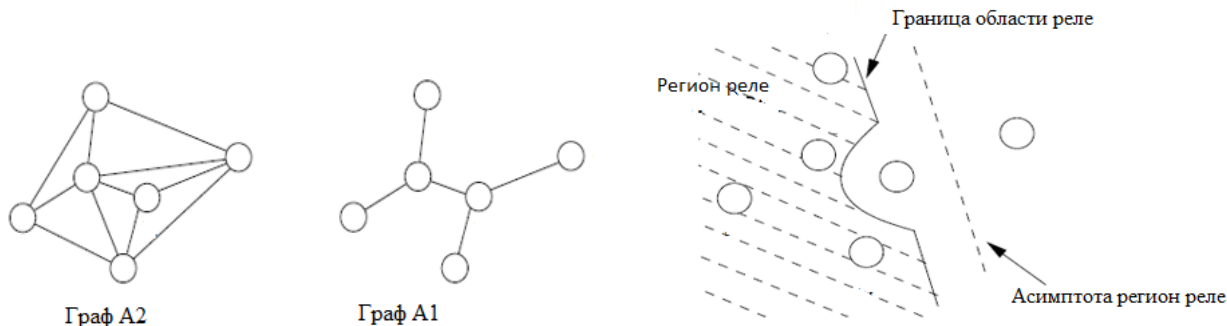


Рисунок 2-а формирование подграфа в MECN

Рисунок 2-б Концепция региона реле

Рис. 2. Протокол MECN

Иерархические протоколы:

Основная цель иерархической маршрутизации – достижение высокой энергоэффективности в узлах за счёт участия этих узлов в многоскачковом соединении в пределах указанного кластера, а также реализация процессов сбора данных с целью сокращения количества сообщения, отправленные в приёмник. Самые известные протоколы [1,6,10,12]:

Low energy adaptive clustering hierarchy (LEACH): протокол LEACH является одним из наиболее распространённых протоколов иерархической маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях. В зависимости от уровня принимаемого сигнала создаются кластеры датчиков, затем головные кластерные узлы (ГКУ) используются в качестве маршрутизаторов на приёмник (рис. 3). Этот механизм экономит энергию, поскольку передача данных будет происходить только через ГКУ, а не через все узлы сети. Оптимальное количество ГКУ составляет около 5% от общего количества узлов в сети. Вся обработка данных выполняется локально в каждом кластере. ГКУ со временем меняются случайным образом, чтобы сбалансировать энергопотребление между узлами [18].

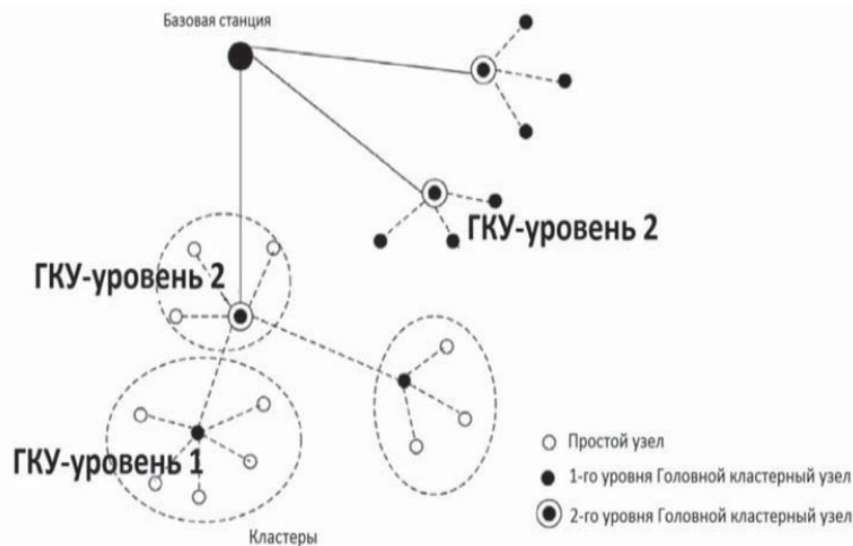


Рис. 3. Архитектура LEACH

Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS): PEGASIS — это протокол иерархической маршрутизации, эволюция LEACH. В отличие от протокола LEACH, который создаёт кластеры, протокол PEGASIS настраивает цепочки узлов (рис. 3) так, чтобы каждый узел отправлял данные одному из своих соседей или получал эти данные от одного из своих соседей. Только один узел из этой цепочки выбирается для отправки в приёмник. Информация перемещается от одного узла к другому, и во время этой передачи данные собираются и в конечном итоге отправляются в приёмник [19].

Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (TEEN): Протокол TEEN – это иерархический протокол, разработанный для реагирования на внезапные изменения параметров, таких как температура и давление, контролируемых сенсорной сетью. Этот протокол стремился достичь иерархии в дополнение к использованию технологий агрегации данных. Этот протокол организует узлы в сети, используя иерархическую структуру, которая полагается на группировку узлов, сходящихся друг с другом, чтобы сформировать кластер, а затем объединение ГКУ для формирования нового кластера. После формирования ГКУ обобщают два порога для узлов в кластере, которые являются жёсткими и мягкими порогами. Для каждого параметра окружающей среды, который отслеживают эти датчики [20,21].

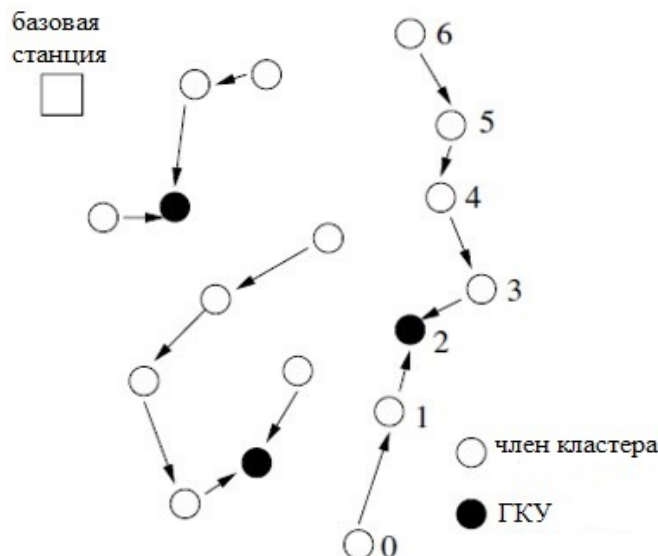


Рис. 4. Цепная структура PEGASIS

Hybrid, Energy Efficient Distributed Clustering (HEED): HEED расширяет базовую схему протокола LEACH, используя остаточную энергию и уровень узла или же плотность в качестве метрики для выбора кластера, с целью достижения баланса энергии в кластерах. Согласно этому алгоритму в HEED периодически выбирается ГКУ согласно комбинации двух параметров кластеризации [4,22].

Протоколы, направленные на агрегацию данных

В этой маршрутизации приёмник отправляет запросы в определенные области и ожидает поступления данных от узлов в целевой области. Этот тип маршрутизации должен иметь механизм именования данных на основе их характеристик, поскольку это именование используется приёмником для определения необходимых ему свойств в запросах, которые он отправляет на сетевые узлы. Учитываются протоколы маршрутизации, которые имеют возможность выбирать определенный набор узлов, и методы сбора данных используются во время передачи этих данных из источников в приёмник. Самые известные протоколы [2,10,11]:

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN-1, -2): Протоколы SPIN основан на идее именования данных с использованием метаданных. Перед отправкой фактических данных между узлами происходит обмен метаданными в зависимости от механизма объявления данных. Механизм объявления данных является основной особенностью этого протокола, как только узел получает какие-либо новые данные, он объявляет эти данные своим соседям, у которых нет этих данных, и своим соседям, которые заинтересованы в этих данных. Механизм согласования SPIN реализуется с помощью трёх типов сообщений: ADV, REQ и DATA (рис. 4) [23,24].

Направленная диффузия (Directed Diffusion): Этот протокол основан на идее распространения данных по сети с использованием схемы именования данных. Что основная причина использования схемы именования - устранение ненужных процессов на сетевом уровне с целью экономии энергопотребления. Этот протокол предлагает использовать двоичное свойство и значение для именования данных и для запроса узлов, когда это необходимо для данных на основе этих двоичных, и для создания запроса пакета определяется на основе списка двоичных, таких как имена элементов, продолжительность, географическая область и т. д. Приёмником пакет распространяется на все узлы в сети. Каждый узел, получивший этот запрос, может сохранить его для дальнейшего использования. Направленная диффузия состоит из четырёх этапов для создания пути между приёмником и датчиками, заинтересованными в запросе приёмника: распространение интереса - настройка градиента - усиление - доставка данных (рис. 5) [25,26].

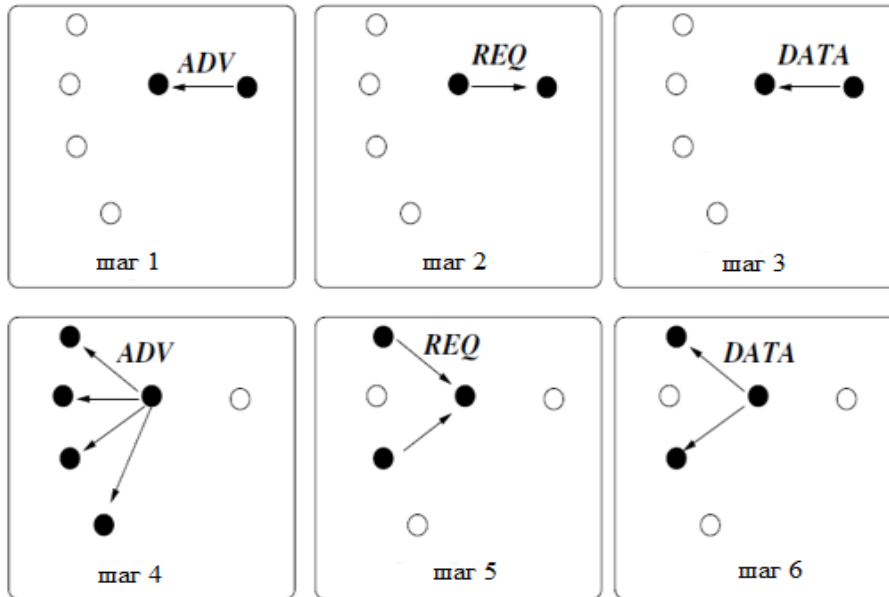


Рис. 5. Протокол SPIN

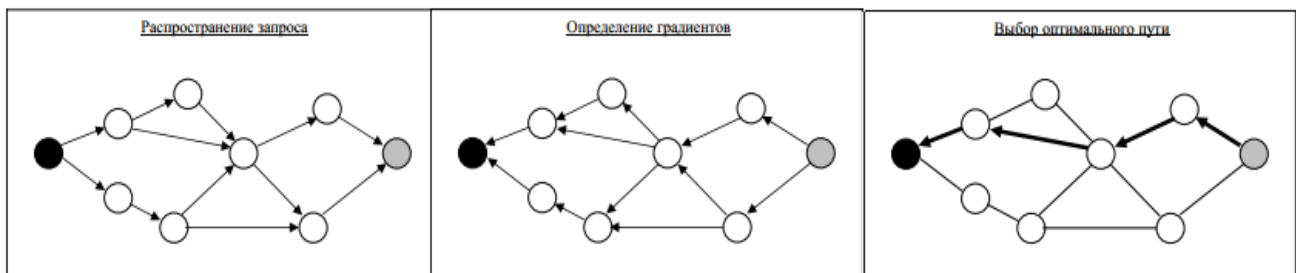


Рис. 6. Протокол Directed Diffusion

Rumor Routing: это ещё одна форма протокола направленной диффузии, предназначенная для ситуаций, когда информация о географических областях в сети недоступна. Он основан на идее направления запросов только к узлам, которые замечают возникновение события. Для распространения события в сети этот протокол использует пакеты с длительным сроком службы, называемые агентами (рис. 6) [27].

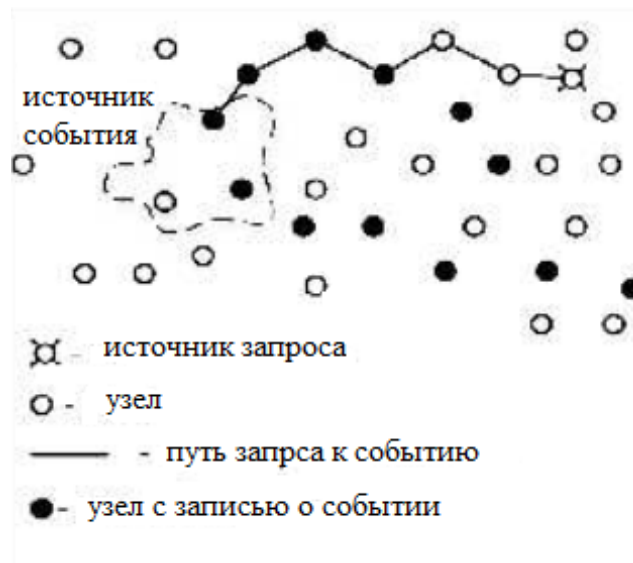


Рис. 6. Протокол Rumor Routing

Математическое описание узлов БСС и Матрица радиовидимости

В сети БСС, каждый узел подключается к своим соседям, когда они находятся в пределах радиовидимости узла. Таким образом, каждый узел имеет свой собственный вектор мощности, который представляет его взаимосвязь с остальными узлами в сети в зависимости от уровня мощности получаемого сигнала (RSS, Received Signal Strength) [5].

Математически это описывается следующим образом:

$$\bar{P}_i \in Z_i = \{p\} \in \{z\} = p_1 \in z_1, \dots, p_j \in z_j, \dots, p_L \in z_L \quad (1)$$

$$\forall q_i \exists Z_i \in q_i : (p_1 \in z_1, \dots, p_j \in z_j, \dots, p_L \in z_L) \in q_i \quad (2)$$

Таким образом, соединение узлов и радиовидимость каждого узла по отношению к остальным узлам можно смоделировать, используя так называемую матрицу радиовидимости P .

$$d(x, w_i) = \begin{pmatrix} 100 & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & 100 & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & 100 & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nj} & \dots & 100 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$P_{ij} = \begin{cases} P_{ij}, & \text{если } i \neq j \\ \text{иначе } 100, & P_{ij} \in [0\%..100\%] \end{cases}$$

Первая строка означает уровень мощности радиовидимости первого узла по отношению к остальным узлам. Вторая строка означает уровень мощности радиовидимости первого узла по отношению к остальным узлам и так далее.

Способ нейросетевой кластеризации БСС

Метод нейросетевой кластеризации основан на представлении узлов в виде матрицы радиовидимости P по формуле (3).

Предварительно необходимо нормализовать матрицу P по формуле:

$$P_{\text{NORM}} = \frac{P}{P_{\text{max}}} \quad (4)$$

где, $P_{\text{max}} = 100$

Определим параметры нейронной сети NET для кластеризации:

$$\text{NET}(N, K, \alpha_0, \tau, R, \varepsilon, \{L\}) \quad (5)$$

где:

N – количество входных нейронов, равное количеству узлов сети;

K – выходных нейронов, равное количеству кластеров;

α_0 – начальное значение скорости обучения; и снижается со временем;

τ – постоянная времени обучения;
 R – радиус чувствительности;
 ε – точность обучения;
 $\{L\}$ – обучающая выборка, равно P_{NORM} .

Используя эти параметры, кластер формируется по конструктивному методу следующим образом:

1. Строки матрицы радиовидимости передаются как обучающие векторы на вход нейронной сети.
2. В случае первой операции нейронной сети есть только один нейрон, и его веса инициализируются значениями первой строки матрицы радиовидимости, затем переходят к шагу 1, иначе переходят к шагу 3.
3. Мы вычисляем Евклидово расстояние по формуле (6) между текущим входным вектором и весами каждого нейрона, а затем выбираем наименьшее расстояние, которое представляет нейрон-победитель (или кластер) для текущего входного вектора.

$$d(x, w_i) = \|x - w_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - w_{ij})^2} \quad (6)$$

$$d(x, w_i) \leq \sqrt{NR} \quad (7)$$

4. Если Евклидово расстояние между кластером-победителем и входным вектором $d(x, w_i)$ не выполняет условие (7), то к нейронной сети будет добавлен новый нейрон, и его веса будут значениями этого входного вектора, с последующим переходом к шагу 1.
5. Веса кластера-победителя и коэффициент скорости обучения корректируются по формуле (8, 9):

$$w_i^{t+1} = w_i^t + \alpha(t) * (x - w_i^t) \quad (8)$$

где w_i^t – вектор весов i -го нейрона; t – номер итерации обучения; x – входной вектор; $\alpha(t)$ – коэффициент скорости обучения.

$$\alpha(t) = \alpha_0 * \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = 0.7 * \exp\left(-\frac{t}{1000}\right) \quad (9)$$

6. В случае, если текущий обучающий вектор является последним, если веса каждого нейрона изменяются более чем на ε по сравнению с предыдущим случаем (Финальная матрица весов не изменится на каждой итерации обучения, если веса каждого нейрона изменяются меньше чем на ε), тогда обучение нейронной сети прекращается, в противном случае следует переход к шагу 1, и обучение продолжается снова с первого обучающего вектора.

Результаты моделирования нейросетевой кластеризации на основе конкурентного метода

Авторами разработана программа позволяющая моделировать кластеризацию узлов в БСС на основе нейросетевого конкурентного метода. Ниже приведены результаты моделирования с использованием матрицы радиовидимости для четырех типов кластеризации 1, 2, 5 и 8 кластеров на выходе, выделяемых программой при изменении данных в матрице радиовидимости.

Эксперимент №1

На входе НС 250 узлов, на выходе 1 кластер. В листинге 1 показано, как, в этом случае иницируется матрица радиовидимости P .

```

all_nodes = 250
clusters = 1
flag = all_nodes % clusters
nodes_in_cluster = math.trunc(all_nodes / clusters)
if( flag != 0):
    clusters = clusters - 1
nodes_for_current_clusters = nodes_in_cluster * clusters
P = np.zeros((all_nodes,all_nodes))
if flag != 0:
    for start in range(0, nodes_for_current_clusters, nodes_in_cluster):
        for row in range(start, start + nodes_in_cluster):
            for col in range(start, start + nodes_in_cluster):
                P[row, col] = randint(80,98)
        for row in range(nodes_for_current_clusters, all_nodes):
            for col in range(nodes_for_current_clusters,all_nodes):
                P[row, col] = randint(80,98)
else:
    for start in range(0, all_nodes, nodes_in_cluster):
        for row in range(start, start + nodes_in_cluster):
            for col in range(start, start + nodes_in_cluster):
                P[row, col] = randint(80,98)

for x in range(all_nodes):
    for y in range(all_nodes):
        if x == y:
            P[x,y] = 100
P = np.maximum( P, P.transpose() )

```

Листинг. 1 Код инициализации радиовидимости

```

[[100. 98. 85. ... 96. 98. 95.]
 [ 98. 100. 82. ... 96. 97. 90.]
 [ 85. 82. 100. ... 93. 92. 97.]
 ...
 [ 96. 96. 93. ... 100. 92. 95.]
 [ 98. 97. 92. ... 92. 100. 96.]
 [ 95. 90. 97. ... 95. 96. 100.]]

```

Рис. 7 (а). Матрица радиовидимости

```

[100. 98. 85. 85. 89. 85. 88. 96. 93. 97. 82. 83. 93. 85.
 91. 97. 83. 91. 91. 95. 96. 87. 89. 97. 85. 97. 95. 98.
 96. 92. 95. 92. 84. 93. 93. 81. 97. 84. 97. 91. 96. 90.
 85. 85. 98. 97. 92. 86. 88. 91. 95. 93. 93. 88. 96. 95.
 95. 83. 90. 95. 89. 83. 93. 86. 97. 91. 89. 93. 85. 94.
 88. 85. 90. 84. 90. 91. 98. 95. 89. 92. 96. 89. 93. 89.
 86. 94. 89. 90. 97. 90. 93. 91. 97. 95. 94. 98. 92. 96.
 95. 82. 93. 97. 86. 83. 90. 98. 84. 85. 83. 96. 93. 98.
 90. 98. 82. 84. 94. 94. 98. 84. 95. 95. 97. 93. 94. 90.
 98. 92. 97. 98. 96. 97. 91. 91. 89. 87. 94. 87. 97. 94.
 96. 84. 97. 94. 97. 98. 98. 97. 85. 89. 94. 93. 94. 96.
 98. 89. 91. 96. 90. 88. 87. 94. 93. 95. 91. 92. 94. 98.
 89. 83. 96. 94. 87. 94. 89. 95. 93. 85. 97. 97. 96. 97.
 84. 97. 95. 93. 95. 97. 94. 94. 95. 97. 98. 87. 92. 93.
 90. 97. 91. 90. 93. 85. 92. 94. 94. 94. 92. 88. 98. 93.
 93. 92. 85. 96. 97. 90. 98. 97. 96. 98. 96. 82. 92. 97.
 85. 82. 93. 94. 89. 95. 93. 92. 88. 97. 94. 80. 94. 93.
 97. 98. 98. 87. 94. 91. 97. 97. 87. 96. 98. 95.]

```

Рис. 7. (б). Первая строка из матрицы радиовидимости

На рисунке 7 (а) приведены начальный и конечный блоки полученной матрицы радиовидимости, на рисунке 7 (б) приведена полученная первая строка из матрицы радиовидимости.

Эта строка представляет собой вектор мощности сигнала, который первый узел получил от других узлов в сети.

100 означает радиовидимость первого узла для самого себя и представляет наибольшее значение, так как остальные узлы находятся в рамках [80... 98].

Далее, начинается обучение нейронной сети, ей передаются строки матрицы в качестве входных векторов. Нейронная сеть работает с использованием следующих значений параметров: $NET(P_{NORM}, N = 250, R = 0.36, \alpha_0 = 0.7, \varepsilon = 0.1, \tau)$.

Значения R , α_0 , ε выбраны согласно рекомендациям [5,7,8,9].

На рисунке 8 приведены финальные веса вероятности принадлежности каждого узла к кластеру после обучения.

```
[[0.95 0.93 0.93 0.92 0.94 0.91 0.94 0.95 0.9 0.92 0.9 0.92 0.93 0.96
0.91 0.92 0.92 0.91 0.94 0.92 0.94 0.91 0.93 0.92 0.93 0.92 0.94 0.94
0.95 0.94 0.92 0.93 0.93 0.94 0.92 0.92 0.93 0.92 0.94 0.91 0.92 0.93
0.91 0.91 0.93 0.94 0.91 0.92 0.91 0.93 0.95 0.95 0.94 0.94 0.88 0.91
0.93 0.94 0.91 0.93 0.91 0.92 0.93 0.92 0.94 0.93 0.9 0.92 0.91 0.94
0.9 0.89 0.91 0.93 0.92 0.93 0.9 0.91 0.9 0.94 0.93 0.92 0.91 0.93
0.9 0.91 0.92 0.88 0.93 0.93 0.94 0.89 0.89 0.92 0.89 0.91 0.9 0.93
0.93 0.92 0.9 0.94 0.89 0.9 0.95 0.94 0.95 0.92 0.91 0.93 0.9 0.91
0.91 0.91 0.93 0.93 0.92 0.92 0.91 0.94 0.93 0.91 0.93 0.93 0.93 0.91
0.93 0.9 0.95 0.93 0.94 0.91 0.93 0.94 0.87 0.91 0.94 0.93 0.91 0.9
0.96 0.9 0.92 0.9 0.93 0.95 0.91 0.95 0.9 0.93 0.93 0.93 0.91 0.94
0.89 0.96 0.93 0.9 0.89 0.93 0.88 0.95 0.9 0.88 0.94 0.91 0.94 0.94
0.93 0.94 0.9 0.92 0.95 0.94 0.96 0.91 0.92 0.93 0.92 0.9 0.94 0.92
0.94 0.93 0.9 0.91 0.95 0.91 0.93 0.92 0.94 0.9 0.9 0.89 0.91 0.89
0.93 0.92 0.95 0.91 0.89 0.93 0.93 0.93 0.92 0.93 0.95 0.92 0.9 0.9
0.92 0.95 0.91 0.92 0.91 0.94 0.93 0.92 0.91 0.91 0.93 0.9 0.91 0.93
0.91 0.92 0.92 0.95 0.95 0.88 0.93 0.92 0.92 0.92 0.91 0.93 0.9 0.94
0.92 0.95 0.91 0.94 0.92 0.91 0.94 0.95 0.9 0.94 0.95 0.94]]
```

Рис. 8. Финальные веса принадлежности к одиночному кластеру

Таким образом, получается только одна строка, которая представляет кластер.

```
The nodes 1 related to cluster 1
The nodes 2 related to cluster 1
The nodes 3 related to cluster 1
The nodes 4 related to cluster 1
The nodes 5 related to cluster 1
The nodes 6 related to cluster 1
The nodes 7 related to cluster 1
The nodes 8 related to cluster 1
The nodes 9 related to cluster 1
The nodes 10 related to cluster 1 .....
The nodes 241 related to cluster 1
The nodes 242 related to cluster 1
The nodes 243 related to cluster 1
The nodes 244 related to cluster 1
The nodes 245 related to cluster 1
The nodes 246 related to cluster 1
The nodes 247 related to cluster 1
The nodes 248 related to cluster 1
The nodes 249 related to cluster 1
The nodes 250 related to cluster 1
```

Рис. 9. Результаты выходы нейронной сети для однокластерного моделирования

В связи с экономией места на рисунке 9 приведены блоки данных с начала и конца файла, откуда видно, что все узлы попадают в один кластер.

Эксперимент №2

На входе НС 250 узлов, на выходе 2 кластера. На рисунке10 (а) приведена полученная матрица радиовидимости и на рисунке10 (б) приведена полученная первая строка из матрицы радиовидимости

$$\begin{bmatrix}
 [100. & 88. & 97. & \dots & 0. & 0. & 0.] \\
 [88. & 100. & 81. & \dots & 0. & 0. & 0.] \\
 [97. & 81. & 100. & \dots & 0. & 0. & 0.] \\
 \dots & & & & & & \\
 [0. & 0. & 0. & \dots & 100. & 92. & 98.] \\
 [0. & 0. & 0. & \dots & 92. & 100. & 88.] \\
 [0. & 0. & 0. & \dots & 98. & 88. & 100.]
 \end{bmatrix}$$

Рис. 10 (а). Матрица радиовидимости

100.	88.	97.	87.	90.	88.	98.	95.	84.	92.	97.	93.	92.	94.
96.	93.	90.	97.	92.	95.	92.	90.	93.	95.	90.	90.	84.	95.
90.	84.	98.	89.	90.	88.	97.	96.	91.	89.	93.	95.	94.	95.
95.	97.	94.	92.	93.	94.	93.	84.	98.	97.	94.	97.	96.	89.
95.	89.	93.	82.	90.	96.	88.	94.	96.	96.	91.	96.	87.	95.
88.	83.	98.	93.	89.	92.	92.	96.	85.	92.	89.	95.	93.	95.
97.	98.	97.	86.	95.	84.	90.	98.	97.	97.	98.	84.	92.	98.
98.	98.	97.	95.	98.	96.	95.	89.	98.	97.	84.	97.	84.	89.
96.	88.	83.	96.	92.	97.	91.	90.	94.	89.	84.	89.	92.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Рис. 10 (б). Первая строка из матрицы радиовидимости

0 означает, что нет связи между узлом и первым узлом и первый узел не получил сигнал от других узлов.

Далее, начинается обучение нейронной сети, ей передаются строки матрицы в качестве входных векторов. Нейронная сеть работает с использованием следующих значений параметров: $NET(P_{NORM}, N = 250, R = 0.36, \alpha_0 = 0.7, \varepsilon = 0.1, \tau)$.

На рисунке 11 приведены финальные веса после обучения вероятности принадлежности каждого узла к кластерам.

В связи с экономией места на рис.12 приведены блоки данных с начала и конца файла. При этом, видно, что узлы с 1 по 125 попадают в первый кластер и узлы с 126 по 250 попадают в второй кластер.

Эксперимент №3

На входе НС 250 узлов, на выходе 5 кластеров. На рис.13 (а) приведена полученная матрица радиовидимости и на рис.13 (б) приведена полученная первая строка из матрицы радиовидимости

[[100. 88. 92. ... 0. 0. 0.]
[88. 100. 86. ... 0. 0. 0.]
[92. 86. 100. ... 0. 0. 0.]
...
[0. 0. 0. ... 100. 95. 97.]
[0. 0. 0. ... 95. 100. 98.]
[0. 0. 0. ... 97. 98. 100.]]

Рис. 13 (а). Матрица радиовидимости

[100. 88. 92. 97. 96. 87. 96. 90. 90. 97. 96. 96. 90. 94.
94. 90. 93. 91. 86. 96. 95. 98. 87. 97. 92. 86. 93. 84.
84. 85. 89. 93. 90. 92. 86. 91. 96. 97. 98. 85. 98. 87.
96. 98. 96. 88. 98. 88. 92. 97. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

Рис. 13 (б). Первая строка из матрицы радиовидимости

Далее, начинается обучение нейронной сети, ей передаются строки матрицы в качестве входных векторов. Нейронная сеть работает с использованием следующих значений параметров: $NET(P_{NORM}, N = 250, R = 0.36, \alpha_0 = 0.7, \varepsilon = 0.1, \tau)$.

Получается 5 строк, каждая из которых содержит номера узлов, принадлежащих конкретному кластеру.

В связи с экономией места на рис.14 приведены данные с начала и конца файла. При этом, видно, что узлы с 1 по 50 попадают в первый кластер и узлы с 51 по 100 попадают в 2-ой кластер и узлы с 101 по 150 попадают в 3-ий кластер и узлы с 151 по 200 попадают в 4-ый кластер и узлы с 201 по 250 попадают в 5-ый кластер.

```

The nodes 1 related to cluster 1
The nodes 2 related to cluster 1
The nodes 3 related to cluster 1
The nodes 4 related to cluster 1
The nodes 5 related to cluster 1
...
The nodes 96 related to cluster 2
The nodes 97 related to cluster 2
The nodes 98 related to cluster 2
The nodes 99 related to cluster 2
...
The nodes 100 related to cluster 2
...
The nodes 101 related to cluster 3
The nodes 102 related to cluster 3
The nodes 103 related to cluster 3
The nodes 104 related to cluster 3
The nodes 105 related to cluster 3
...
The nodes 146 related to cluster 3
The nodes 147 related to cluster 3
The nodes 148 related to cluster 3
The nodes 149 related to cluster 3
The nodes 150 related to cluster 3
...
The nodes 196 related to cluster 4
The nodes 197 related to cluster 4
The nodes 198 related to cluster 4
The nodes 199 related to cluster 4
...
The nodes 200 related to cluster 4
...
The nodes 201 related to cluster 5
The nodes 202 related to cluster 5
The nodes 203 related to cluster 5
The nodes 204 related to cluster 5
The nodes 205 related to cluster 5
...
The nodes 246 related to cluster 5
The nodes 247 related to cluster 5
The nodes 248 related to cluster 5
The nodes 249 related to cluster 5
The nodes 250 related to cluster 5
...
The nodes 51 related to cluster 2
The nodes 52 related to cluster 2
The nodes 53 related to cluster 2
The nodes 54 related to cluster 2
The nodes 55 related to cluster 2
...
The nodes 151 related to cluster 4
The nodes 152 related to cluster 4
The nodes 153 related to cluster 4
The nodes 154 related to cluster 4
The nodes 155 related to cluster 4
...

```

Рис. 14. Результаты выхода нейронной сети для пятикластерного моделирования

Эксперимент №4

На входе НС 250 узлов, на выходе 8 кластеров на рис.15 приведена полученная первая строка из матрицы радиовидимости.

```

[100. 98. 90. 89. 92. 82. 96. 89. 93. 90. 97. 86. 93. 97.
 98. 91. 96. 98. 91. 94. 98. 97. 94. 89. 98. 93. 97. 94.
 96. 98. 85. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

```

Рис. 15. Первая строка из 250 строк матрицы радиовидимости

Далее, начинается обучение нейронной сети, ей передаются строки матрицы в качестве входных векторов. Нейронная сеть работает с использованием следующих значений параметров: $NET(P_{NORM}, N = 250, R = 0.36, \alpha_0 = 0.7, \varepsilon = 0.1, \tau)$.

На выходе получается 8 строк, каждая из которых содержит номера узлов, входящих в один из восьми кластеров.

```
The nodes 1 related to cluster 1   The nodes 27 related to cluster 1   The nodes 32 related to cluster 2
The nodes 2 related to cluster 1   The nodes 28 related to cluster 1   The nodes 33 related to cluster 2
The nodes 3 related to cluster 1   The nodes 29 related to cluster 1   The nodes 34 related to cluster 2
The nodes 4 related to cluster 1   The nodes 30 related to cluster 1   The nodes 35 related to cluster 2
The nodes 5 related to cluster 1 .. The nodes 31 related to cluster 1   The nodes 36 related to cluster 2 .....

    The nodes 58 related to cluster 2
    The nodes 59 related to cluster 2
    The nodes 60 related to cluster 2
    The nodes 61 related to cluster 2
    The nodes 62 related to cluster 2

The nodes 63 related to cluster 3   The nodes 89 related to cluster 3   The nodes 94 related to cluster 4
The nodes 64 related to cluster 3   The nodes 90 related to cluster 3   The nodes 95 related to cluster 4
The nodes 65 related to cluster 3   The nodes 91 related to cluster 3   The nodes 96 related to cluster 4
The nodes 66 related to cluster 3   The nodes 92 related to cluster 3   The nodes 97 related to cluster 4
The nodes 67 related to cluster 3 ..... The nodes 93 related to cluster 3   The nodes 98 related to cluster 4 .....

    The nodes 120 related to cluster 4
    The nodes 121 related to cluster 4
    The nodes 122 related to cluster 4
    The nodes 123 related to cluster 4
    The nodes 124 related to cluster 4

The nodes 125 related to cluster 5   The nodes 151 related to cluster 5   The nodes 156 related to cluster 6
The nodes 126 related to cluster 5   The nodes 152 related to cluster 5   The nodes 157 related to cluster 6
The nodes 127 related to cluster 5   The nodes 153 related to cluster 5   The nodes 158 related to cluster 6
The nodes 128 related to cluster 5   The nodes 154 related to cluster 5   The nodes 159 related to cluster 6
The nodes 129 related to cluster 5 ..... The nodes 155 related to cluster 5   The nodes 160 related to cluster 6 .....

    The nodes 182 related to cluster 6
    The nodes 183 related to cluster 6
    The nodes 184 related to cluster 6
    The nodes 185 related to cluster 6
    The nodes 186 related to cluster 6

The nodes 187 related to cluster 7   The nodes 213 related to cluster 7   The nodes 218 related to cluster 8
The nodes 188 related to cluster 7   The nodes 214 related to cluster 7   The nodes 219 related to cluster 8
The nodes 189 related to cluster 7   The nodes 215 related to cluster 7   The nodes 220 related to cluster 8
The nodes 190 related to cluster 7   The nodes 216 related to cluster 7   The nodes 221 related to cluster 8
The nodes 191 related to cluster 7 ..... The nodes 217 related to cluster 7   The nodes 222 related to cluster 8 .....

    The nodes 246 related to cluster 8
    The nodes 247 related to cluster 8
    The nodes 248 related to cluster 8
    The nodes 249 related to cluster 8
    The nodes 250 related to cluster 8
```

Рис. 16. Результаты нейросетевого восьмикластерного моделирования

В связи с экономией места на рис.16 приведены данные с начала и конца файла. При этом, видно, что узлы с 1 по 31 попадают в первый кластер и узлы с 32 по 62 попадают в 2-ой кластер и узлы с 63 по 93 попадают в 3-ий кластер и узлы с 94 по 124 попадают в 4-ый кластер и узлы с 125 по 155 попадают в 5-ый кластер и узлы с 156 по 186 попадают в 6-ой кластер и узлы с 187 по 217 попадают в 7-ой кластер и узлы с 218 по 250 попадают в 8-ой кластер.

Выводы

В статье кратко рассмотрены некоторые протоколы, основанные на положении узлов, иерархические и обеспечивающие кластеризацию. Кластеризация – это одна из механизмов, который помогает снизить энергопотребление в беспроводных сенсорных сетях, а также обеспечивает масштабируемость сети за счёт ограничения трафика между кластерами. Также приведены результаты нейросетевого моделирования, обеспечивающего механизм кластеризации беспроводных сенсорных сетей, на основе матрицы радиовидимости с использованием конструктивного метода, вне зависимости от местоположений этих узлов. Этот механизм помогает в разработке протоколов маршрутизации на основе кластеризации. В дальнейшем планируется учитывать топологию узлов, совместно с матрицей радиовидимости.

Литература

1. *Лихтциндер Б.Я., Киричек Р.В., Федотов Е.Д., Голубничая Е.Ю., Кочуров А.А.* Беспроводные сенсорные сети: Учебное пособие для вузов / Под общей редакцией Б. Я. Лихтциндера, ISBN: 978-5-9912-0822-2, 2020.
2. *Махров С.С.* Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях, основанные на местоположении узлов и направленные на агрегацию данных, 2013.
3. *Fischione C.* An Introduction to Wireless Sensor Networks Draft // Swedish Communication Technologies Workshop. 2014. No 9. P. 99-124.
4. *Ossama Younis and Sonia Fahmy*, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-efficient Approach", September 2002.
5. *Махров С.С.* Использование нейронных механизмов искусственного интеллекта для кластеризации узлов и маршрутизации данных в беспроводных сенсорных сетях, диссертация. Москва, 2015.
6. *Махров С.С.* Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях иерархические, основанные на мобильности, мультиориентированные и основанные на гетерогенности. 2013.
7. *Баталов А. С.* Конструктивный метод обучения нейронной сети Кохонена // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012». Выпуск 2. Том 1. Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. С. 94-99.
8. *Баталов А.С.* Методы повышения эффективности обучения нейронной сети Кохонена // Вестник Пермского университета. Сер.: Математика. Механика. Информатика. 2012. Вып. 3 (11). С. 86-93.
9. *Горбаченко В.И.* Сети и карты Кохонена: [Электронный ресурс] // Научно-исследовательский центр самоорганизации и развития систем. - 2010. -Режим доступа: <http://gorbachenko.self-organization.ru/index.html> (Дата обращения: 01.02.2014).
10. *Бершадский А. М., Курилов Л. С., Финогеев А. Г.* Обзор методов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях. № 1 (21), 2012. Технические науки. Информатика, вычислительная техника.
11. *Муравьев К.А., Манушян Д.Г.* Анализ принципов построения самоорганизующихся сенсорных сетей // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2018.
12. *Рудаков К.А.* Беспроводные сенсорные сети: принципы организации, алгоритмы выбора головного узла и кластеризации. Челябинск, 2018.
13. *Y. Xiu, J. Heidemann, and D. Estrin*, "Geography-informed energy conservation for ad-hoc routing", Proceedings ACM/IEEE MobiCom'01, Rome, Italy, July 2001, pp. 70-84.
14. *Abbasi A.A., Younis M.* A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks // Computer Communications. 2007. №30. P. 2826-2841.
15. *Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin*, "Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks", Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department, May 2001.
16. *V. Rodoplu and T. H. Meng*, "Minimum energy mobile wireless networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 8, Aug. 1999. P. 1333-1344.
17. *Rodoplu V., Meng T. H.* Minimum energy mobile wireless networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1999. Vol. 17. №8. P. 1333-1344.
18. *W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan*, "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", in IEEE Computer Society Proceedings of the Thirty Third Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00), Washington, DC, USA, Jan. 2000, vol. 8. P. 8020.
19. *W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan*, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks" in IEEE Transactions on Wireless Communications (October 2002), vol. 1(4). P. 660-670.
20. *Ossama Younis and Sonia Fahmy* "Heed: A hybrid, Energy-efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Networks", IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 3, no. 4, Oct.-Dec. 2004.
21. *A. Manjeshwar and D. P. Agrawal*, "TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", in the Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April 2001.
22. *S. Lindsey and C.S. Raghavendra*, "PEGASIS: Power-efficient Gathering in Sensor Information System", Proceedings IEEE Aerospace Conference, vol. 3, Big Sky, MT, Mar. 2002. P. 1125-1130.
23. *W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan*, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", Proceedings ACM MobiCom '99, Seattle, WA, Aug. 1999. P. 174-185.

24. *J. Kulik, W. Heinzelman, and H. Balakrishnan*, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks", *Wireless Networks*, vol. 8, no. 2/3, Mar.-May 2002. P. 169-185.
25. *C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin*, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks", *Proceedings ACM MobiCom'00*, Boston, MA, Aug. 2000. P. 56-67.
26. *C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva*, "Directed diffusion for wireless sensor networking", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11., no. 1, Feb. 2003. P. 2-16.
27. *D. Braginsky and D. Estrin*, "Rumor routing algorithm in sensor networks", *Proceedings ACM WSNA*, in conjunction with *ACM MobiCom'02*, Atlanta, GA, Sept. 2002. P. 22.

КОМПЕНСАЦИЯ ШУМОВ ПЕРЕГРУЗКИ ПРИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ СИГНАЛА ЯРКОСТИ ТВ ВЕЩАНИЯ

Мамедов Иса Рахман оглы,

д.т.н., проф. Азербайджанского Технического Университета, г. Баку, Азербайджанская Республика,
isamamedov1953@gmail.com

Исмаилов Зафар Алескер оглы,

доктор философии по технике, доцент Азербайджанского Технического Университета,
г. Баку, Азербайджанская Республика.

Мурад-заде Эльвин Ильгар оглы,

аспирант Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности,
г. Баку, Азербайджанская Республика,
muradzade.elvin36@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы возникновения шумов квантования и ограничения при аналого-цифровом преобразовании сигнала яркости ТВ вещания. Определены соотношения мощностей шумов ограничения и шумов квантования при обратно пропорциональном и обратно экспоненциальном законах распределения яркости на изображениях ТВ вещания. Экспериментально изучено влияние шумов ограничения на качество воспроизведения изображений и возможности уменьшения таких шумов путем компрессии динамического диапазона сигнала яркости ТВ вещания.

Ключевые слова

Шум квантования, шум ограничения, коэффициент ограничения, плотность вероятности, порог квантования, распределение яркости.

Введение

В цифровом телевизионном вещании исходный аналоговый видеосигнал, поступающий от телевизионного центра, преобразуется в цифровой сигнал. Одной из первых операций при формировании цифрового потока является импульсно-кодовая модуляция (ИКМ), состоящая, в свою очередь, из трёх операций – дискретизации по времени, дискретизации по уровню (квантование) и кодирования. При квантовании в состав полезного сигнала вносятся определённые шумы [1-3].

Шумы перегрузки возникают при превышении уровнем квантуемого сигнала допустимого разрешаемого уровня квантователя [4-5]. Чем больше значение коэффициента ограничения, тем больше мощность шума ограничения, вносимая при квантовании сигнала. Уровни шумов квантования и шумов ограничения зависят также от параметров квантования. Необходимо определить соотношение этих мощностей.

Шумы квантования и шумы ограничения влияют на качество воспроизводимых изображений одновременно с другими мешающими факторами, т.е. ко всем другим шумам добавляются и шумы аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразований сигналов. Поэтому оценить влияние этих шумов в отдельности на качество изображения не представляется возможным. Однако возможно косвенно указать приблизительную долю этих шумов среди других помех.

Для экспериментальной оценки аналого-цифрового преобразования необходимо провести измерения АЧХ, ГВЗ, дифференциального усиления, нелинейных искажений в сигнале ТВ вещания, \bar{K} -фактора в импульсах $2T$. В литературе приведены следующие характерные этапы контроля параметров в сети цифрового ТВ вещания [6]:

- выбрать параметры оборудования, используемого в сети цифрового ТВ вещания;
- разработать методы контроля выбранных параметров;
- выбрать измерительное оборудование.

Необходимо различать два типа измерений в системе DVB:

- а) измерение выбранных параметров транспортного потока;
- б) измерение качественных показателей оборудования канала.

В системе DVB первый тип измерения включает коэффициент побитовых ошибок (BER – Bit Error Ratio), отношение сигнал/шум и качество квадратурных составляющих сигнала [7-9].

Целью настоящей работы является определение соотношения шумов квантования и шумов ограничения при аналого-цифровом преобразовании сигнала яркости ТВ вещания и экспериментальная оценка влияния шумов ограничения на качество воспроизводимых изображений.

Определение соотношения мощностей шума квантования и шума ограничения при различных законах распределения уровня сигнала яркости ТВ вещания

В результате возникновения шумов квантования и ограничения уменьшается отношение сигнал/шум квантования, что приводит к уменьшению помехоустойчивости системы в целом. Суммарный шум квантования, в общем случае, может быть определён по формуле [4-5]:

$$\bar{P}_{и\Sigma}(u_{вх}) = \bar{P}_{кв}(u_{вх}) + \bar{P}_{огр}(u_{вх}), \quad (1)$$

где $\bar{P}_{кв}(u_{вх})$ – мощность шума квантования, $\bar{P}_{огр}(u_{вх})$ – мощность шума ограничения.

Шумы перегрузки возникают при $K_U = U_{макс} / U_{кв.макс} > 1$, где K_U – коэффициент ограничения; $U_{макс}$ – максимальное значение входного сигнала; $U_{кв.макс}$ – напряжение сигнала, соответствующее максимально допустимому значению порога квантования.

Коэффициент ограничения показывает степень превышения максимального значения квантуемого сигнала относительно максимально допустимого значения порога квантования.

Для унipoлярного сигнала мощность шума перегрузки определяется по известной формуле [4-5]:

$$\bar{P}_{огр}(u_{вх}) = \frac{U_{макс}^2}{U_{кв.макс}^2} \int_{U_{кв.макс}}^{U_{макс}} (u_{вх} - U_{кв.макс})^2 w(u_{вх}) du_{вх}. \quad (2)$$

где $w(u_{вх})$ – плотность вероятности амплитуды входного сигнала.

В цифровом ТВ вещании обычно осуществляется раздельное квантование сигналов яркости и цветностей. Представляет интерес определение уровня нелинейных искажений в сигнале яркости из-за большей заметности искажений яркости элементов изображений.

Нами получены выражения для определения мощности шума ограничения $\bar{P}_{огр}(u_{вх})$ при различных законах распределения яркости на изображениях. При линейной амплитудной характеристике преобразователя «сигнал-свет» или при линейной световой характеристике преобразователя «свет-сигнал» и обратно пропорциональной модели плотности вероятности сигнала яркости ТВ вещания эта мощность определяется по формуле [5-6]:

$$\bar{P}_{огр}(u_{вх}) = \frac{U_{кв.макс}^2}{\ln \frac{\alpha_0 + 1}{\alpha_0}} \left[\frac{K_U^2 - 1}{2} - (2 + \alpha_0)(K_U - 1) + (1 + \alpha_0)^2 \ln \frac{K_U + \alpha_0}{1 + \alpha_0} \right]. \quad (3)$$

где α_0 – постоянная величина, значение которой определяется экспериментально.

Известно выражение мощности шума квантования для различных типов изображений при линейной и нелинейной амплитудных характеристиках преобразователя «сигнал-свет» или световых характеристиках преобразователя «свет-сигнал». Для логарифмического метода компандирования и при обратно пропорциональном законе распределения яркости на ТВ изображениях нами было определено выражение [2]:

$$\bar{P}_{кв}(u_{вх}) = \frac{U_{макс}^2 \ln^2(1+a)}{3(2N+1)^2} \left\{ 1 + 2a \left(\frac{1}{\ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} - \alpha_0 \right) + a^2 \left[\frac{(1-\alpha_0)^2}{2 \ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} + \alpha_0^2 \right] \right\} \quad (4)$$

где N – количество уровней оценки квантования; a – постоянная величина, значение которой определяется экспериментально.

Находим отношение мощностей ограничения и квантования с целью определения доли каждой из них на выходе аналого-цифрового преобразователя сигнала яркости ТВ вещания:

$$\bar{\chi}(u_{вх}) = \frac{3(2N+1)^2}{K_U^2 \ln^2(1+a)} \times \frac{\frac{1}{\ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} \left[\frac{K_U^2-1}{2} - (2+\alpha_0)(K_U-1) + (1+\alpha_0)^2 \ln \frac{K_U+\alpha_0}{1+\alpha_0} \right]}{1 + 2a \left(\frac{1}{\ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} - \alpha_0 \right) + a^2 \left[\frac{(1-\alpha_0)^2}{2 \ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} + \alpha_0^2 \right]} \quad (5)$$

Учитывая экспериментально полученные значения $\alpha_0 = 0,2$ и $a = 30$, рассчитываем значения $\bar{P}_{кв}(u_{вх})$, $\bar{P}_{огр}(u_{вх})$ и $\bar{\chi}(u_{вх})$ (приведены в табл. 1).

Аналогичным образом можем определить отношение $\bar{\chi}(u_{вх})$ для других видов распределения яркости на изображениях ТВ вещания. Допустим, что распределение яркости на изображениях ТВ вещания подчиняется обратному экспоненциальному закону. При линейной световой характеристике преобразователя «свет-сигнал» мощность шума ограничения при $K_U > 1$ находится по формуле [5, 10]:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{огр}(u_{вх}) = & -e^{-\frac{U_{кв.макс}}{U_{ср}}} \left(K_U^2 U_{кв.макс}^2 + 2K_U U_{кв.макс} U_{ср} + \right. \\ & \left. + 2U_{ср}^2 - 2K_U U_{кв.макс}^2 - 2U_{макс} U_{ср} / K_U + U_{макс}^2 / K_U^2 \right) + 2U_{ср}^2 e^{-\frac{U_{кв.макс}}{U_{ср}}} \end{aligned} \quad (6)$$

где $U_{ср}$ – среднее значение напряжения сигнала яркости.

Выражения (3) и (6) показывают зависимость мощности шума ограничения от коэффициента ограничения K_U . Из полученных выражений следует, что мощность шума ограничения имеет сложную зависимость от коэффициента ограничения даже при относительно простой модели распределения значения квантуемого сигнала. Поэтому для анализа необходимо провести некоторые упрощения в полученных формулах.

Получено выражение для определения мощности шума квантования при обратно пропорциональном законе распределения яркости на ТВ изображениях и при применении логарифмического метода компандирования [2]:

$$\overline{P}_{кв}(u_{вх}) = \frac{U_{макс}^2 \ln^2(1+a)}{3(2N+1)^2} \times \left\{ 1 - 2a \frac{U_{ср}}{U_{макс}} \left[e^{\frac{U_{макс}}{U_{ср}} \left(\frac{U_{макс}}{U_{ср}} + 1 \right)} - 1 \right] - \right. \\ \left. - a^2 \frac{U_{ср}^2}{U_{макс}^2} \left[e^{\frac{U_{макс}}{U_{ср}} \left(\frac{U_{макс}^2}{U_{ср}^2} + 2 \frac{U_{макс}}{U_{ср}} + 2 \right)} - 2 \right] \right\} \quad (7)$$

Находим отношение $\overline{\chi}(u_{вх})$ для названной модели распределения. После несложных преобразований имеем:

$$\overline{\chi}(u_{вх}) = \frac{3(2N+1)^2}{\ln^2(1+a)} \times \frac{-e^{\frac{U_{макс}}{K_U U_{ср}} \left(1 + 2 \frac{U_{ср}}{U_{макс}} - \frac{2}{K_U} - \right)} \rightarrow}{\left\{ 1 - 2a \frac{U_{ср}}{U_{макс}} \left[e^{\frac{U_{макс}}{U_{ср}} \left(\frac{U_{макс}}{U_{ср}} + 1 \right)} - 1 \right] - \right.} \\ \left. - 2 \frac{U_{ср}}{K_U U_{макс}} + \frac{1}{K_U^2} \right\}} \rightarrow \frac{-a^2 \frac{U_{ср}^2}{U_{макс}^2} \left[e^{\frac{U_{макс}}{U_{ср}} \left(\frac{U_{макс}^2}{U_{ср}^2} + 2 \frac{U_{макс}}{U_{ср}} + 2 \right)} - 2 \right] \right\}} \quad (8)$$

Принимая значение $U_{ср} = 0,5U_{макс}$ мы можем рассчитать значения $\overline{P}_{огр}(u_{вх})$, $\overline{P}_{кв}(u_{вх})$, $\overline{\chi}(u_{вх})$ для вышеназванной модели распределения яркости на ТВ изображениях. Результаты расчётов для различных значений уровней оценки квантования и коэффициента ограничения приведены в табл. 1.

Из таблицы 1 следует, что при начальном превышении максимального значения входного сигнала аналого-цифрового преобразователя по отношению к напряжению сигнала яркости, соответствующему максимально допустимому значению порога квантования, мощность шума ограничения имеет небольшое значение. При дальнейшем увеличении коэффициента ограничения мощность шума ограничения увеличивается значительно. С увеличением коэффициента ограничения от 1,3 до 1,4 мощность шума ограничения увеличивается в 54 раза при обратно пропорциональном распределении, в 1,44 раза при обратно экспоненциальном распределении яркости на изображениях. Значение мощности шума ограничения превосходит значение мощности шума квантования в 1045 раза при обратно пропорциональном распределении яркости, в 598 раза при обратно экспоненциальном распределении яркости. С увеличением длины кодового слова с 8-и до 10-и отношение мощностей шумов ограничения и квантования уменьшается примерно в 17 раз.

Экспериментальная проверка влияния шумов ограничения на качество воспроизведения изображений

Полученные выражения показывают, что превышение уровнем квантуемого сигнала максимально допустимого значения порога квантования приводит к заметному увеличению суммарной мощности шума квантования. Отсюда следует, что шум ограничения, мощность которого превышает допустимый порог, должен быть компенсирован. С этой целью необходимо определить допустимый уровень мощности шума ограничения.

Мощность перегрузки ограничивается двумя факторами. Во-первых, определенные искажения в сигнале изображения оказываются заметными на воспроизводимом изображении, что связано с психовизуальной особенностью глаз наблюдателя [11].

Кроме того, появление шума перегрузки приводит к уменьшению помехоустойчивости системы вследствие уменьшения отношения сигнал/суммарный шум квантования.

В системе DVB-T введён критерий порогового уменьшения качества изображений [7]. Существует критерий безошибочного приема (QEF), согласно которому в течение часа на воспроизводимом на экране ТВ изображении может возникать только одна ошибка, на выходе декодера Витерби вероятность побитовой ошибки равна $BER = 10^{-11}$ [7, 12].

Для экспериментальной оценки влияния шумов перегрузки на качество воспроизведения изображений используем пятибалльную шкалу ITU (International Communication Union) для субъективной оценки качества изображений. При этом качество изображения оценивается как очень плохое, недостаточное, достаточное, хорошее и отличное. Для оценки качества воспроизведения были выбраны три различных типа изображений. Изображение I типа – это изображение крупного плана, изображение II типа – это изображение со средним количеством элементов, а изображение III типа – изображение с большим количеством элементов.

Таблица 1

Значения мощностей шумов квантования и ограничения при различных значениях коэффициента ограничения и количества уровней оценки квантования

	$\bar{P}_{огр}(u_{вх})$		$\bar{P}_{кв}(u_{вх})$		$\bar{\chi}(u_{кв})$	
	по формуле (3)	по формуле (6)	по формуле (4)	по формуле (7)		
$K_U = 1,3;$ $N=256$	$0,0056 U_{кв макс}^2$	$0,061 U_{кв макс}^2$	$0,0033 U_{кв макс}^2$	$0,0024 U_{кв макс}^2$	1,31	25,42
$K_U = 1,4;$ $N=256$	$0,3 U_{кв макс}^2$	$0,088 U_{кв макс}^2$	$0,0033 U_{кв макс}^2$	$0,0024 U_{кв макс}^2$	64,94	36,67
$K_U = 1,3;$ $N=1024$	$0,0056 U_{кв макс}^2$	$0,061 U_{кв макс}^2$	$2,05 \cdot 10^{-4} U_{кв макс}^2$	$1,47 \cdot 10^{-4} U_{кв макс}^2$	21,01	414,97
$K_U = 1,4;$ $N=1024$	$0,3 U_{кв макс}^2$	$0,088 U_{кв макс}^2$	$2,05 \cdot 10^{-4} U_{кв макс}^2$	$1,47 \cdot 10^{-4} U_{кв макс}^2$	1045	598,64

Субъективную оценку проводим путём привлечения 15 экспертов. Средние значения результатов приведены в табл. 2, столбцы 2-5, где τ_u – время наблюдения изображения экспертами.

Таблица 2

Результаты субъективной оценки качества изображений

Типы изображений	Компрессор выключен				Компрессор включен	
	$K_U = 1,$ $\tau_u = 100$ мс	$K_U = 1,1$ $\tau_u = 10$ мс	$K_U = 1,12$ $\tau_u = 300$ мс	$K_U = 1,2$ $\tau_u = 100$ мс	$K_U = 1,12$ $\tau_u = 300$ мс	$K_U = 1,2$ $\tau_u = 100$ мс
I тип	5	4,93	4,8	2,66	5	4,93
II тип	5	5	4,93	3,07	5	5
III тип	5	5	5	3,87	5	5

Из таблицы 2 следует, что качество изображения заметно ухудшается с увеличением коэффициента ограничения. Это ухудшение более заметно на изображениях крупного плана даже при малых значениях коэффициента ограничения. При дальнейшем увеличении коэффициента ограничения ухудшается качество всех трёх типов изображений.

Для уменьшения шумов ограничения нами предложено устройство автоматического управления динамическим диапазоном квантуемого сигнала. При превышении уровнем сигнала максимально допустимого предела квантования осуществляется компрессия динамического диапазона. Качество изображения восстанавливается при помощи компрессора (табл. 2, столбцы 6 и 7).

Заключение

Шумы ограничения, вносимые при аналого-цифровом преобразовании яркостного сигнала ТВ вещания, являются существенными. С увеличением коэффициента ограничения мощность шума ограничения увеличивается значительно. При обратно пропорциональном распределении яркости на ТВ изображениях увеличение коэффициента ограничения от 1,3 до 1,4 приводит к увеличению мощности шума ограничения в 54 раза.

Литература

1. Телевидение / Под ред. В.Е. Джакони. М.: Радио и связь, 2000. 640 с.
2. Мамедов И.Р., Ахадов И.Д., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Цифровое телевидение: Формирование и передача сигнала (монография). Баку: Азернешр, 2010. 150 с.
3. Misra V., Goyal V.K., Varshney L.R. Distributed Scalar Quantization for Computing: High-Resolution Analysis and Extensions // IEEE Transactions on Information Theory, 2011, v. 57, No 8, August, pp. 5298-5325.
4. Məmmədov İ.R., İsmayilov Z.Ə. TV yayım parlaqlıq signalinin kvantlanması zamanı yaranan məhdudlama küylərinin gücünün hesablanması // Azərbaycan QSC, Milli Aviasiya Akademiyasının "Elmi məcmuələr", 2015, cild 17, №1, səh.124-130.
5. Мамедов И.Р., Исмаилов З.А. Уменьшение шума ограничения при аналого-цифровом преобразовании сигнала яркости ТВ вещания // Международный НТС «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях: «Синхроинфо 2012», г. Йошкар-Ола 2012. С. 22-24.
6. Мамедов И.Р., Исмаилов З.А. Мощность шума ограничения при передаче сигналов ТВ вещания по цифровым системам связи // Труды 21-ой Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», г. Москва, 2013. С. 45-48.
7. Зубарев Ю.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. М.: НИИР, 2001. 568 с.
8. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. Сб.: БХВ-Петербург, 2010. 464 с.
9. Rabiei P., Namgoong W., Al-Dhahir N. On the Performance of OFDM-Based Amplify-and-Forward Relay Networks in the Presence of Phase Noise // IEEE Transactions on Communications, 2011. Vol. 59, May, No. 5. P. 1458-1466.
10. Məmmədov İ.R., İsmayilov Z.Ə. TV yayım parlaqlıq signalinin analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan məhdudlama küylərinin signal/maneə nisbətinə təsiri // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, 2014, cild 17, №4 (17), səh. 44-48.
11. Monet P., Dubois. Block Adaptive Quantization of Images // IEEE Transaction on Communication, 1993, v. 41, No 2, p. 303-306.
12. Chen H., Chen W., Chung C. Spectrally Precoded OFDM and OFDMA with Cyclic Prefix and Unconstrained Guard Ratios// IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011. Vol. 10, May. No. 5. P. 1211-1215.

ДВУХФАЗНЫЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ С МОЩНЫМ ВЫХОДОМ

Комаров Сергей Николаевич,

*генеральный директор ООО «Радиовещательные технологии»,
старший преподаватель кафедры Радиооборудования и схемотехники МТУСИ, Москва, Россия*

Бузуева Наталья Михайловна,

старший преподаватель кафедры Радиооборудования и схемотехники МТУСИ. Москва, Россия

Аннотация

Предназначен для работы в качестве задающего генератора в связных и вещательных радиопередатчиках малой и средней мощности диапазонов длинных, средних, промежуточных и нижней части коротких волн. Используется для непосредственного возбуждения выходного каскада передатчика на металло-керамических тетродах, работающего в ключевом режиме с импульсным суммированием мощности. Изначально разрабатывался для передатчиков Индивидуального радиовещания, но может иметь более широкие применения в профессиональной аппаратуре радиосвязи, навигации и вещания.

Ключевые слова.

Двухфазный синтезатор, импульсное суммирование мощности, Индивидуальное радиовещание, Зелёный глаз.

Параметры

Имеет универсальную схему, позволяющую выбирать рабочие частоты от длинных волн до 4,7 МГц. Формирует сетку из 40 рабочих частот. Шаг сетки частот может выбираться в пределах от 1 до 25 кГц. Программируемый фиксированный коэффициент деления в канале опорной частоты от 1 до 256. Переключаемый коэффициент деления при перестройке выходной частоты от 161 до 200. Выходной сигнал – мощные прямоугольные импульсы четырёх вариантов:

1. Два противофазных сигнала с частотой $f_p/2$, при скважности 6, амплитудой до 100 В при токе до 1,6 А. Выход – открытый сток. Для возбуждения двухфазного выходного каскада [5].
2. Два противофазных сигнала с частотой f_p , при скважности 3, амплитудой до 100 В при токе до 1,6 А. Выход – открытый сток. Для возбуждения двухтактного выходного каскада.
3. Четыре попарно противофазных сигнала с частотой $f_p/2$, при скважности 6, амплитудой до 120 В при токе до 1,0 А. Выход – открытый коллектор. Для возбуждения двухфазного выходного каскада с параллельной работой двух активных элементов в каждой фазе.
4. Четыре попарно противофазных сигнала с частотой f_p , при скважности 3, амплитудой до 120 В при токе до 1,0 А. Выход – открытый коллектор. Для возбуждения двухтактного выходного каскада с параллельной работой двух активных элементов в каждом плече [7, 8].

Формирование сетки частот в синтезаторе может быть в двух вариантах:

$$1. f_p = N \times f_{он} / 2M.$$

$$2. f_p = N \times f_{он} / M$$

Где f_p – выходная рабочая частота синтезатора; $f_{он}$ – частота опорного генератора; N – переменный коэффициент деления при перестройке частоты (от 161 до 200); M – фиксированный коэффициент деления в канале опорной частоты (от 1 до 256).

Элементная база синтезатора – отечественные микросхемы ТТЛШ серий 530 и 533.

В синтезаторе используется интегральный термокомпенсированный кварцевый генератор ГК321-ТК-К-АД российской фирмы «БМГ-кварц», имеющий относительную нестабильность частоты $(0,5...1,0) \times 10^{-6}$. Возможно также использование внешнего опорного генератора [4].

Помимо этого, в схеме и конструкции синтезатора предусмотрено альтернативное применение опорного генератора ГК159-ТК (отечественная фирма «БМГ-плюс») в корпусе меньших размеров и с другими дополнительными элементами схемы включения (рис. 3, 5).

Выбор элементной базы и схемной реализации синтезатора

Синтезатор собран на жёсткой логике с применением цифровых микросхем ТТЛШ среднего и малого уровня интеграции в металлических корпусах с планарными выводами (530 и 533 серии). Выбор столь устаревшей реализации обусловлен требованием надёжной работы прибора в условиях сильных электромагнитных и электростатических полей, в непосредственной близости от мощных активных элементов выходного каскада передатчика, мощностью в единицы и десятки киловатт.

В условиях мощных наводок микроконтроллерное и любое программированное исполнение синтезатора приведёт к неизбежным сбоям в работе внутренних программ, что при автоматизированном или необслуживаемом режиме эксплуатации недопустимо в работе передатчиков радиосвязи, навигации и радиовещания. Жёсткая же логика, по причине отсутствия избыточных или недокументированных состояний, принципиально не способна давать сбой. В отличие от микропроцессоров и микроконтроллеров, жесткая логика умеет делать только то, для чего спроектирована.

Получившимся габаритам синтезатора 97 x 112 x 25 (вместе с радиаторами выходных ключей) могут сильно позавидовать синтезаторы, реализованные на специализированных программируемых микросхемах. Для работы программируемых ИС на базе микроконтроллеров необходимы сложные схемы развязки и наличие тщательной экранировки, для обеспечения надёжной работы в аналогичных условиях мощных местных радиопомех. К тому же, этот синтезатор даже в средневолновом вещательном передатчике мощностью несущей лишь в 200 Вт, при пиковой мощности до 800 Вт (не говоря уже о киловаттах), занимает объём менее 1%. Поэтому, его миниатюризация, с применением интегральных схем большого уровня интеграции (БИС), не имеет смысла, и в первоочередные задачи выходят простота регулировки, надёжность и помехоустойчивость.

И ещё одно достоинство схемотехники на жёсткой логике. После сборки синтезатора, его можно включить и он сразу заработает. Не требуется программирования, не нужен компьютер и программист, который напишет для него программу в машинных кодах специализированной ИС.

Принципиальная схема

Имеет два варианта. С выходом на полевых транзисторах и на биполярных. К тому же, отдельно следует привести схему включения альтернативного опорного генератора. Изначально синтезатор разрабатывался для Индивидуального радиовещания [6, 11], и на принципиальной схеме указаны номиналы элементов для диапазона частот 1449-1800 кГц. Начнём описание схемы с базового варианта с выходом на полевых транзисторах (рис. 2).

Весь верхний ряд схемы – это ДПКД: Шифраторы на 533ЛА1 и ЛА3, вычитающий счётчик на двух 533ИЕ6 (единицы и десятки) и одном триггере 533ТМ2 (сотни). Второй триггер микросхемы – это формирователь синхронного сигнала загрузки кода. Этим он добавляет единичку к коэффициенту пересчёта и ПКД получается не от 160 до 199, а от 161 до 200. В среднем ряду слева изображён ДФКД на двух 533ИЕ10 и одном элементе ЛА3. Прямо под ним расположен опорный генератор со схемой фильтрации питания и подборным резистором коррекции частоты. В центре среднего ряда – импульсный частотно фазовый детектор на ИС 533ТМ2 и трёх элементах ЛА3 (четвёртый – в ДФКД). Три элемента обеспечивают задержку для формирования длительности асинхронного импульса сброса триггеров ЧФД. Далее, вправо, два отсекающих диода 2Д522Б, задача которых не допустить к ФНЧ и Интегратору «грязный» уровень логической единицы с выходов триггеров ТТЛШ. Благодаря этим диодам ЧФД задаёт лишь «нулевой» логический уровень, а «единичку» подставляет делитель напряжения 2,7к/7,5к от «чистого» источника +12 вольт, да еще дважды отфильтрованного блокировочными конденсаторами 0,068 и 0,01 мкФ. Потенциал +2,7 В с делителя напряжения, через резисторы 3к подается в анодные цепи диодов и на вход интегратора, собранного на операционном усилителе 140УД6. Эта микросхема выполнена по биполярной схемотехнике, и нечувствительна к статическим наводкам. Оба входа интегратора симметричны и образованы цепочками из двух резисторов 120к и 15к и накопительных конденсаторов 0,01 мкФ. Группа по ТКЕ этих конденсаторов выбрана М1500. Конденсаторы с нелинейной и термонеустойчивой керамикой групп Н30, Н50 и Н90 в эту цепь ставить нельзя. Они годятся лишь как блокировочные, а для времязадающих цепей непригодны.

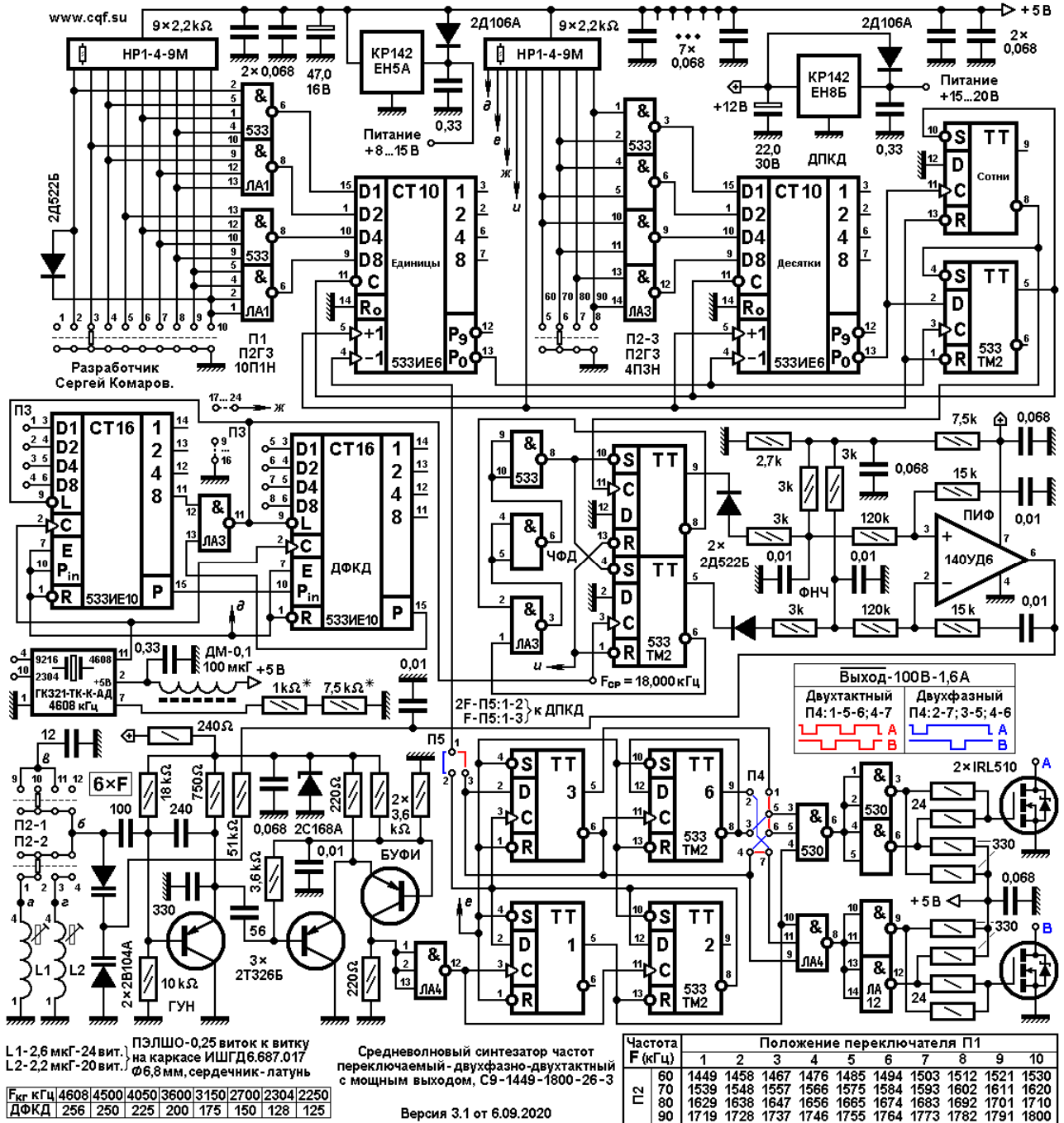


Рис. 2. Принципиальная схема мощного двухфазного синтезатора в варианте С9-1449-1800-26 (расшифровка названия: Синтезатор, сетка 9 кГц, $f_n = 1449$ кГц, $f_v = 1800$ кГц, число фаз – 2, скважность – 6)

С выхода интегратора постоянное напряжение фазовой ошибки ФАПЧ подается на варикапы 2В104А через разделительный ВЧ фильтр из блокировочного конденсатора 0,01 мкФ (М1500) и разделительного резистора 51к. В левом нижнем углу схемы расположен ГУН. Он выполнен на транзисторе 2Т326Б с заземлённым коллектором (коллектор – на корпусе, так, что транзистор в такой схеме экранирует сам себя) по схеме генератора Клаппа (емкостная трёхточка, 240пФ и 330 пФ, с дополнительной емкостью в индуктивной ветви). Клапповский конденсатор 100 пФ заодно выполняет роль разделительного. Индуктивная ветвь состоит из двух переключаемых катушек, дополнительного переключаемого конденсатора 12 пФ и параллельно включённых двух встречно-последовательных варикапов. Варикапы по ВЧ включены последовательно, а по управляющему напряжению - параллельно, и синхронно меняют свою ёмкость при работе ФАПЧ.

С наименее «холодной» точки контура, с эмиттера транзистора, через конденсатор внешнеемкостной связи 56 пФ, сигнал поступает на буферный усилитель, собранный по каскодной схеме ОК-ОБ с эмиттерной связью. На выходе буферного усилителя установлен логический элемент 530ЛА4, преобразующий синусоидальный сигнал автогенератора в прямоугольные импульсы со скважностью близкой к двум.

Напряжение питания автогенератора и буферного усилителя стабилизировано на уровне 6,8 В с помощью стабилитрона 2С168А от источника +12 вольт.

Далее, частота импульсов $f_{\text{гн}} = 6 f_p$ делится на 3 синхронным счётчиком на двух триггерах ИС 533ТМ2 для формирования стробирующего импульса длительностью 1/6 периода рабочей частоты. Затем, следует счётчик на 2, раскидывающий эти импульсы поочередно по двум тактам для работы двухтактного выходного каскада и следом, ещё один счётчик на 2, который формирует две последовательности импульсов половинной частоты для возбуждения двухфазного выходного каскада. Выходы всех счётчиков приходят на стробируемый дешифратор на двух элементах 530ЛА4 (третий – в формирователе прямоугольных импульсов на выходе буферного усилителя). Набор перемычек П4 позволяет выбрать режим работы выхода синтезатора «двухтактный» или «двухфазный». Далее – инвертирующий «усилитель мощности» на ИС 530ЛА12, который управляет работой выходных транзисторных ключей.

Последовательность импульсов на ДПКД, для работы петли ФАПЧ, берётся либо после делителя на 3 и соответствует двойной рабочей частоте $2f_p$, либо с выхода первого делителя на 2 и соответствует рабочей частоте f_p . Выбор производится перемычкой П5. Соответственно, в два раза можно менять частоту сравнения $F_{\text{ср}}$ и выбирать более удобное значение частоты опорного генератора $f_{\text{оп}}$. А также П5 влияет на параметры, приведённые в описании структурной схемы.

Дополнительные схемные решения

Альтернативный интегральный термокомпенсированный кварцевый генератор ГК159-ТК требует напряжения питания +3,3 В. Поэтому его схема включения содержит параметрический стабилизатор на стабилитроне 2С133А, питающийся, в свою очередь, от стабилизированного источника +5 В (рис. 3).

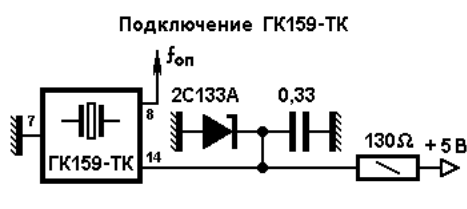


Рис. 3

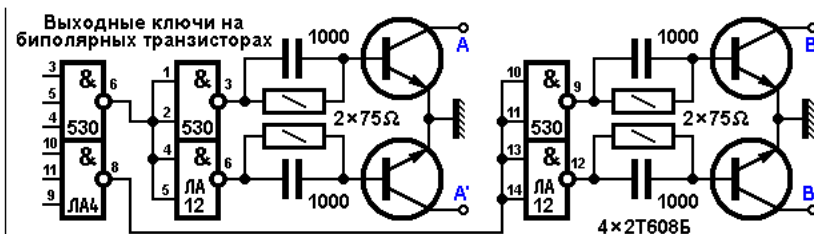


Рис. 4

Выходные ключи могут быть выполнены на четырёх биполярных транзисторах 2Т608Б или, если в выходном каскаде передатчика коммутируются по катодам тетроды с малой крутизной (с повышенным напряжением запирающего), то на более высоковольтных 2Т653А (рис. 4).

Литература

1. *Комаров С.* Средневолновый радиовещательный синтезатор частоты // Радио. 2012. № 9. С. 19-23; № 10. С. 21-23.
2. *Комаров С. Н., Тертышников А. В.* Разработка и исследование многофазных синтезаторов радиочастот с мощным выходом // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. № 9. 2013. С. 97-99.
3. *Комаров С. Н.* Формирование импульсов оптимальной скважности для возбуждения многофазных выходных каскадов передатчиков // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. № 11. 2016. С. 29-33.
4. *Комаров С.* Генератор двух образцовых частот для синтезаторов вещательных передатчиков // Радио. 2014. № 6. С. 23-25.
5. *Комаров С. Н., Морозова А. П.* Исследование усилителя мощности радиочастотных колебаний с многофазным возбуждением // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. Том 8. № 10. 2014. С. 33-38.
6. *Комаров С.* Индивидуальное (любительское) радиовещание в России // Радиолобитель. 2010. № 1. С. 4, 5, первая и вторая страница обложки.
7. *Сергей Комаров.* Ключевой тракт формирования несущей АМ передатчика // Радиолобитель. 2017. № 1. С. 17-21.
8. *Комаров С. Н.* Импульсное суммирование мощности активных элементов в многофазных выходных каскадах радиопередатчиков // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. № 5. С. 9-14.
9. *Комаров С.Н., Коцыганова К.Д.* Двухфазно-двухтактный синтезатор частот с мощным выходом. В сборнике: Технологии информационного общества // Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции. 2019. С. 278-282.
10. *Комаров С.Н.* Индивидуальное радиовещание. 2. Самодельные радиопередатчики и многофазные синтезаторы частот диапазона 200 метров. Монография. Практическое руководство для руководителей и членов конструкторских радиокружков и радиостанций Индивидуального радиовещания. М.: ИД Медиа Паблишер, 2018. 214 с.
11. *Комаров С.Н.* Индивидуальное радиовещание. 7. Цели, задачи и общая стратегия. Организация радиотехнических кружков. Вещательная концепция станций ИРВ. Практическое руководство для руководителей и членов конструкторских радиокружков и радиостанций Индивидуального радиовещания. М.: ИД Медиа Паблишер, 2020. 200 с.
12. *Комаров С.Н., Коцыганова К.Д., Семенов О.А.* Проектирование и исследование двухфазно-двухтактного синтезатора частот с мощным выходом // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2020. Т. 10. № 4. С. 11-17.
13. *Тактакишвили В.Г., Комаров С.Н.* Разработка и исследование передатчика с квадратурной амплитудной модуляцией // Телекоммуникации и информационные технологии. 2016. Т. 3. № 1. С. 39-42.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЦИФРОВОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Миронов Роман Владимирович,
аспирант, МАДИ, Москва, Россия,
r.mirono@gmail.com

Сидоров Кирилл Михайлович,
к.т.н., доцент, МАДИ, Москва, Россия
k.sidorov@bk.ru

Аннотация

Рассматриваются частные технические решения по цифровому управлению электрооборудованием транспортных средств, в том числе основными компонентами системы тягового и энергетического оборудования электромобилей. Представлены результаты практической реализации цифрового контроля состояния тяговой аккумуляторной батареи применительно к экспериментальному образцу легкового электромобиля.

Ключевые слова: *цифровое управление, электрооборудование, электромобиль, средства информационного обмена.*

Введение

Современное транспортное средство – это сложный многофункциональный объект, содержащий целый комплекс различных устройств и систем. От скоординированного взаимодействия последних зависит не только надежность функционирования целого объекта, но и реализуемые при этом характеристики. Информационный обмен, контроль и управление работой функциональных блоков на современном транспортном средстве уже невозможен без реализации цифровых технологий передачи данных, основу которых сейчас составляют CAN и, на перспективу, Ethernet [1-3].

Описание разработанных технических решений

В рамках проекта создания экспериментального образца легкового электромобиля [4] на базе серийно выпускаемого автомобиля реализована система информационного обмена, контроля и управления тяговым и энергетическим оборудованием (ТЭО). Топология указанной информационной среды представлена на рисунке 1. В дополнение к штатной в рассматриваемом электромобиле добавлена шина передачи данных высоковольтного электрооборудования, которая соединяет компоненты ТЭО: тяговый преобразователь напряжения (ТПН), тяговую аккумуляторную батарею (ТАБ) и бортовое зарядное устройство (БЗУ). Взаимосвязь с электронными блоками управления (ЭБУ) тормозной системой, рулевым управлением и другими системами транспортного средства осуществляется через модуль информационного обмена, контроля и управления (МОК).

Модуль информационного обмена, контроля и управления выполнен в виде блока, состоящего из печатной платы с электронными компонентами, разъемных соединений и корпуса. Электронный блок управления структурно включает следующие основные функциональные узлы: вычислительный блок, блок интерфейсов, блок энергонезависимой памяти и блок питания.

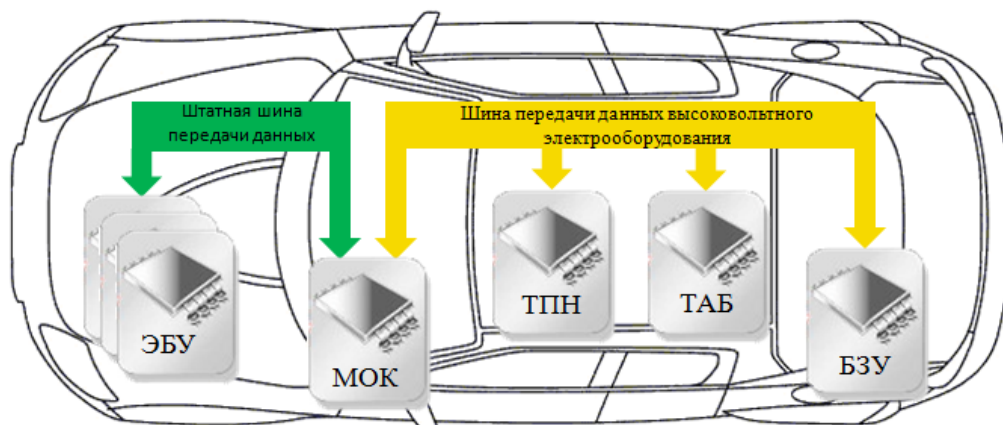


Рис. 1. Топология шин передачи данных экспериментального образца легкового электромобиля

Специализированное программное обеспечение реализует обработку входной информации, расчет и отправку необходимых воздействий (команд) на компоненты системы тягового и энергетического оборудования транспортного средства, а также взаимодействует со вспомогательными системами. Для обеспечения возможности обслуживания и отладки системы предусмотрено несколько каналов связи. Проводной канал связи, соответствующий стандарту ISO14229, представляет собой прямое подключение диагностического оборудования к шине передачи данных CAN. Беспроводной канал ближней связи осуществляет передачу данных с помощью технологий Bluetooth и Wi-Fi. Также предусмотрен беспроводной канал дальней связи с использованием передачи данных через мобильный интернет.

Для удобства диагностирования и отладки создано мобильное приложение для устройств на базе операционной системы (ОС) Android. С помощью этого программного обеспечения возможно контролировать работу, выполнять настройку и управлять компонентами тягового и энергетического оборудования. В качестве примера на рисунке 2 представлен вид одного из окон мобильного приложения, предназначенного для контроля и управления тяговой аккумуляторной батареей [5] экспериментального образца легкового электромобиля.

Выводимая на экран информация содержит сводные данные о: конфигурации тяговой аккумуляторной батареи, текущем напряжении и температуре ТАБ, минимальном и максимальном значении напряжения единичных аккумуляторов и их локализации.



Рис. 2. Окно мобильного приложения на экране смартфона

Для удобства визуального контроля баланса напряжений последовательно включенных аккумуляторов на экране отображается гистограмма указанных напряжений.

Заключение

Представленные в настоящей статье технические решения направлены на повышение эффективности, надежности и удобства управления электрооборудованием перспективного электромобильного транспорта. Внедренные на экспериментальном образце электромобиля результаты предполагают осуществление оперативного контроля, автоматического и, при необходимости, ручного управления основными компонентами тягово-энергетической системы. Представленные результаты могут позиционироваться как необходимая подготовка к реализации беспилотных технологий в части программного и аппаратного обеспечения работы исполнительных устройств и систем, обеспечивающих движение и вспомогательные функции.

Литература

1. *Matheus K., Königseder T.* Automotive Ethernet. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 275 p.
2. CAN Specification Version 2.0. Stuttgart: Bosch, 1991.
3. *Lawrenz W.* CAN Controller Area Network, Grundlagen und Praxis. - 2nd ed. Heidelberg: Hüthig, 1997.
4. *Sidorov K.M., Yutt V.E., Grishchenko A.G.* Practical implementation of the concept of converted electric vehicle with advanced traction and dynamic performance and environmental safety indicators // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 315. P. 1-9.
5. *Sidorov K.M., Grishchenko A.G.* An Experimental Investigation of Electrical and Thermal Performance of Battery Pack for Zero Emission Vehicle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272, Iss. 2. P. 1-9.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ

Арефьев Кирилл Викторович,
студент кафедры «Транспортные установки», МАДИ, Москва, Россия
kirill.arefev.98@mail.ru

Немчинов Андрей Вячеславович,
студент кафедры «Транспортные установки», МАДИ, Москва, Россия
flchymi@rambler.ru

Толочков Алексей Романович,
студент кафедры «Транспортные установки», МАДИ, Москва, Россия
al.tolochkov@yandex.ru

Ерусланкин Сергей Алексеевич,
Старший преподаватель кафедры «Транспортные установки», МАДИ, Москва, Россия
riffess@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены основные виды экзоскелетов, их отличительные особенности, достоинства и недостатки. Выявлены перспективные направления развития экзоскелетов, обладающие новизной по сравнению с другими видами. Проведен анализ технического уровня разработок в области создания экзоскелетов. По результатам проведенных исследований определили тенденцию развития в данной области техники.

Ключевые слова: экзоскелет, активный экзоскелет, пассивный экзоскелет, роботизация.

В настоящее время во многих странах ведется разработка экзоскелетов. Это устройство способно совершить реновацию в роботизированных системах. Экзоскелет предназначен для восполнения утраченных функций, увеличения выносливости человека за счёт внешнего каркаса, приводящих частей и внешнего источника питания.

Исходя из назначения, основными требованиями к экзоскелетам являются: снижение энергозатрат пользователя при выполнении различных операций, снижение динамических нагрузок; уменьшения процента воздействия от общей нагрузки на носителя; повышение эргономики конструкции; эффективность использования внешних источников питания, его безотказность и автономность; высокая надежность всего устройства.

Но при этом возникают проблемы, связанные с компактностью самого устройства и эффективностью источников питания. Решение этих проблем, а также усовершенствование устройства и его отдельных частей является актуальной задачей.

Многообразие различных конструкций и исполнений экзоскелетов, созданных на сегодняшний день и разрабатываемых на перспективу, обуславливает необходимость введения их классификации, построенной на основании наиболее характерных признаков.

Один из возможных вариантов классификации, по принципу работы привода и основному источнику энергии, позволяет определить основные достоинства, присущие различным типам экзоскелетов.

По принципу работы экзоскелеты бывают активные, пассивные и комбинированные.

Пассивные экзоскелеты представляют из себя устройство, где механика движения основана на использовании кинетической энергии и силы человека (отдельные части экзоскелета не усилены, силовые приводы отсутствуют). Достоинства такого вида экзоскелетов является простота конструкции при минимальных габаритах и массе.

Но у них есть ряд недостатков, заключающихся в плохой грузоподъемности, невозможность модификации и установки вспомогательных устройств. Как результат – данный тип экзоскелетов позволяют разгрузить оператора только в некоторых фиксированных положениях его тела, что делает возможным практическое использование экзоскелетов такого типа только в определенных видах операций.

В свою очередь, активные экзоскелеты получили наибольшее распространение [1-10]. Они в качестве источника энергии используют устройство (двигатель), которое способно преобразовывать любой вид энергии (гидравлическую, электрическую и др.) в механическую. Внешний источник питания позволяет использовать силовые приводы, которые уменьшают процент воздействия от общей нагрузки на носителя.

Достоинство такого вида экзоскелетов является высокая скорость передвижения, значительное увеличение силы носителя и возможность модифицирования, что позволит выполнить больший объем работы.

Активный экзоскелет является перспективной моделью, хоть и имеет ряд недостатков по некоторым позициям, но установка дополнительных устройств увеличивает сферу применения.

Также стоит сказать, что комбинация этих двух классов позволяют устранять недостатки данного вида экзоскелета, с сохранением его главных достоинств.

Наиболее лучшим направлением развития видится создание экзоскелетов комбинированного типа, в которых усилены только наиболее важные части экзоскелета, в то время как второстепенные оставлены пассивными. Это приводит, с одной стороны, к существенному упрощению конструкции, а с другой, - к тому, что пассивные сочленения управляются оператором за счёт собственных мышечных усилий.

Для анализа технического уровня разработок в области создания экзоскелетов изучена патентно-лицензионная ситуация в исследуемой области техники.

Изобретательская активность, показателем которой является количество полученных патентов, является следствием вложения финансовых средств в разработку и может свидетельствовать либо об устранении конкретных технических проблем, либо о появлении новых принципиальных решений. Для построения динамических кривых результаты патентных исследований по РФ были проанализированы все патенты за выбранный период времени (с 2011 по 2020 гг.). Такой подход позволяет облегчить сопоставительный анализ по исследуемым объектам, а также оценить перспективы развития каждого из направлений.

Через поисковую базу данных «PATENTSCOPE» (позволяет ознакомиться с полным текстом международных заявок, поданных в соответствии с Договором о патентной кооперации (РСТ)), проведен анализ в области создания экзоскелетов самого встречающегося МПК- № А61Н 3/00. Найдено 711 охраняемых документов, относящихся к данному МПК.

По результатам проведенных исследований наблюдается большой объем полученных патентов на разработку экзоскелетов, что указывает на перспективное направление разработки.

На рисунке 1 представлено количество патентных документов по странам.

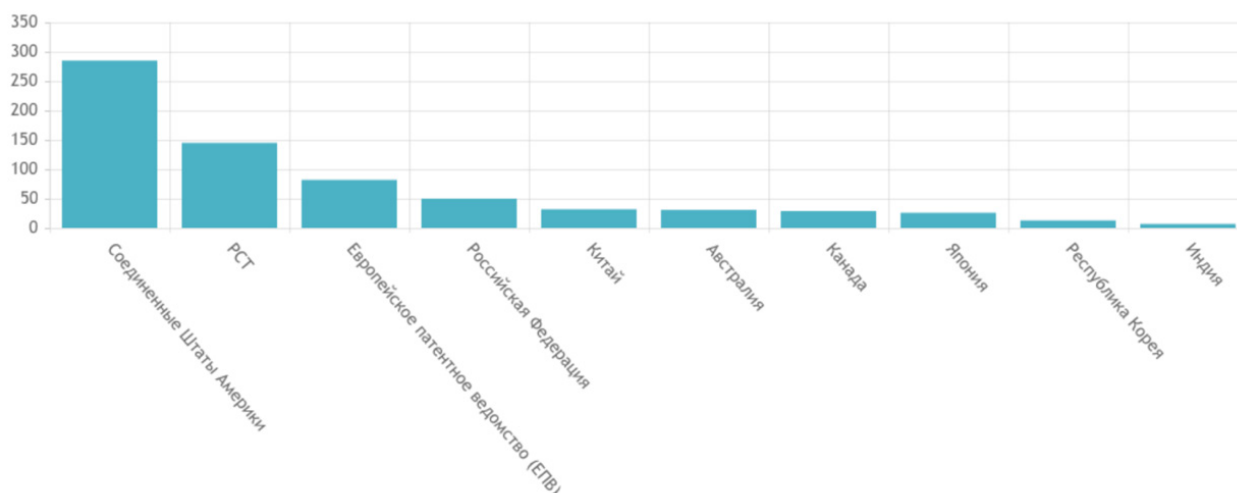


Рис. 1. Количество патентных документов по странам

На рисунке 2 представлено количество патентных документов по годам.

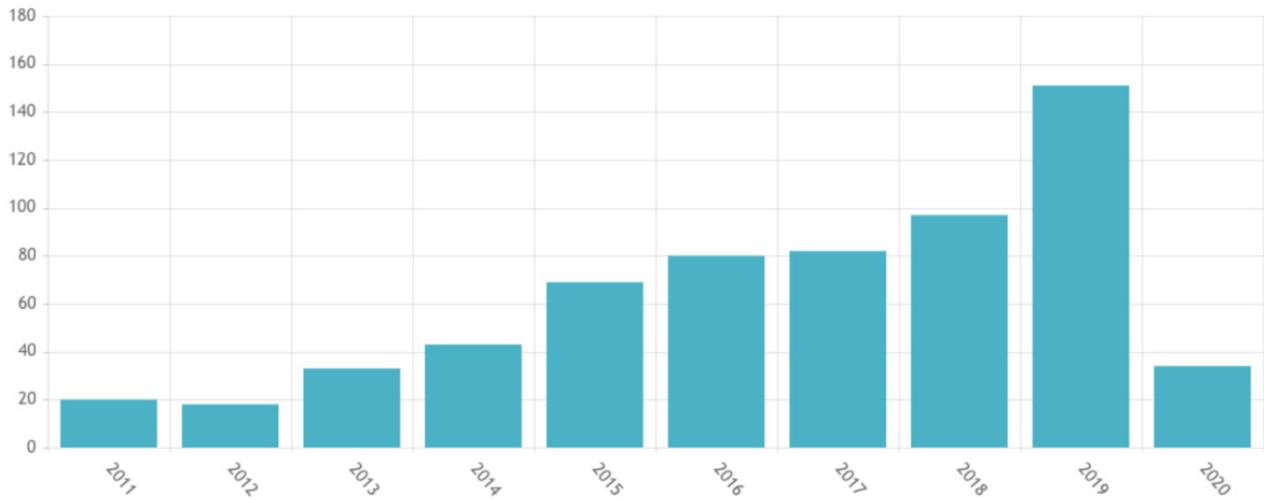


Рис. 2. Количество патентных документов по годам

Можно отметить, что с 2011 по 2019 идет стабильный рост количества выпускаемых патентов. Это может свидетельствовать о высоком финансировании разработок в указанный период, или об интересе разработчиков к данным техническим направлениям и в разработке этого объекта.

В 2020 – происходит резкий спад, значит, средства в проведение исследований и разработок этих объектов были урезаны из-за глобальной пандемии.

Важными показателями, характеризующими технический уровень экзоскелетов, являются повышение надежности, уменьшение габаритов, повышение технико-экономических показателей; уменьшения процента воздействия от общей нагрузки на носителя и повышение эргономики конструкции.

Для определения тенденции развития экзоскелетов рассмотрим патент на изобретение.

В патенте РФ на изобретение №2696631 «Экзоскелет и способ его использования» рассмотрен амортизатор, который способен воспринимать нагрузку вниз на опорную поверхность.

Новым решение в экзоскелете является его модульность. Он содержит по меньшей мере три взаимосвязанные секции: секцию туловища, секцию тазобедренного сустава и секции нижних конечностей. Каждая из секций состоит из множества взаимосвязанных жестких элементов, которые формируют несущую конструкцию экзоскелета [2].

В традиционной конструкции экзоскелетах данного имеют несущую конструкцию, направленную на внешнюю сторону ноги, что несовместимо с биомеханикой тела человека и может привести к травмам.

В рассмотренной конструкции устройство выполнено с возможностью ношения пользователем так, чтобы поддерживать и передавать нагрузку, переносимую пользователем, вниз на опорную поверхность, тем самым уменьшая нагрузку на самого пользователя [2].

В результате анализа достигнутого технического уровня в области создания экзоскелетов, можно сделать вывод о признаках разработок, определяющих их современный научно-технический облик.

Основным направлением разработки, определяющей современный научно-технический облик, можно признать рассмотренные патенты на изобретения №2552703 «Универсальный общевоисковой экзоскелет» и №2696631 «Экзоскелет и способ его использования». Данные изобретения направлены на значительное увеличение силы и амплитуды движений носителя, а также имеют возможность программирования, что позволяет выполнять большой объем работы.

По результатам проведенных исследований наблюдается большой объем полученных патентов на разработку экзоскелетов, что указывает на перспективное направление разработки. Принимая во внимание очевидный интерес к этому направлению исследований, можно сделать вывод о его актуальности и перспективности дальнейших исследований.

Литература

1. *Скворчевский А.К., Воробьев Е.И., Скворчевский К.А.* Концепция развития технических средств реабилитации (ТСР) людей с ограниченными физическими возможностями на основе антропоморфных биопротезов рук // Медицина и высокие технологии. 2012. №2. С. 7-22.
2. Пат. № 2696631 Российская Федерация, МПК В25J 11/00. Экзоскелет и способ его использования [Текст] / БЮЖО, Ален (СА), ШЕЙТОЯН, Жан-Марк (СА), ТРЕМБЛЕ, Франсуа (СА), ПАКЕТТ, Патрис (СА), ПОЛЬ, Александер (СА), ФОРГЕТ, Саймон (СА); заявитель и патентообладатель: МАВАШИ ПРОТЕКТИВ КЛОУЗИНГ ИНК. (СА); заявл. 20.07.2018, опубл. 05.08.2019, Бюл. № 22.- 45с.: ил..
3. Пат. № 2552703 Российская Федерация, МПК В25J 11/00. Универсальный обшейсковой экзоскелет [Текст] / Соколов Илья Валерьевич (RU), Рудаков Игорь Анатольевич (RU), Севрюков Игорь Тихонович (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное Государственное Бюджетное Военное Образовательное Учреждение Высшего Профессионального Образования "Военно-Технический Университет" Министерства Обороны Российской Федерации (RU); заявл. 29.10.2013, опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16.- 7с.: ил..
4. *Воробьев Е.И., Дорофеев В.О., Михеев А.В.* Антропоморфные биороботы и биопротезы // Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. №6. С.15-28.
5. *Борисов А.В., Розенблат Г.М., Кончина Л.В., Куликова М.Г., Маслова К.С.* Механика стержневых моделей опорно-двигательного аппарата человека // Монография. Научное издание. Смоленск: Универсум, 2020. 220 с.
6. *Гулямов К.Х., Гуломзода А.Х.* Разработка и исследование повышающего преобразователя постоянного напряжения // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 4 (51). С. 55-61.
7. *Карелина М.Ю., Арифудлин И.В., Терентьев А.В.* Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1 (52). С. 3-9.
8. *Долина О.Н., Жидкова М.А., Шпилькина Т.А., Ахметжанова Э.У.* Реализация политики импортозамещения в автомобильной промышленности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 2 (49). С. 22-28.
9. *Надараиа Ц.Г., Селиванов А.И., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Бабкина Л.А.* Химико-кинетический накопитель энергии и мотор-редуктор для электромобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 1 (48). С. 12-17.
10. *Козлов А.Н.* Организация безопасной эксплуатации тяговой литий-ионной аккумуляторной батареи на транспортном средстве // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2016. № 1 (44). С. 14-19.

КОЭФФИЦИЕНТ СОХРАНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАК СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ ПРИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ

Птицын Данила Алексеевич,
МАДИ, Москва, Россия,
d.pticyn@madi.ru

Ершов Владимир Сергеевич,
МАДИ, Москва, Россия,
vsershov21@gmail.com

Подгорный Артем Велимирович,
МАДИ, Москва, Россия,
podgornyrobot@gmail.com,

Махмудов Запир Магомедович,
МАДИ, Москва, Россия,
zapir-mahmudov@mail.ru

Акулов Алексей Андреевич,
МАДИ, Москва, Россия,
Ter34t@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена выявлению основных проблем определения качества перевозки пассажиров, а также определению возможности использования коэффициента сохранения эффективности для проведения расчетов качества с учетом большего количества исходных данных, а также возможностью отслеживания качества в реальном времени.

Ключевые слова: *качество пассажирских перевозок; подвижной состав; техническая эксплуатация автобусов; коэффициент сохранения эффективности.*

Введение

В существующих на данный момент многочисленных исследованиях качества пассажирских перевозок в Российской Федерации (РФ) выявляется ряд следующих проблем.

- Большая часть подвижного состава (ПС), эксплуатирующаяся в настоящее время, давно выработала свой ресурс или нормативный срок службы, при этом, зачастую, не соблюдаются ни экологические требования, предъявляемые к транспортному средству, ни требования по обеспечению конструктивной безопасности. Что влечет за собой значительный социально-экономический ущерб.

- В результате процесса обеспечения необходимого уровня безопасности предоставляемых услуг, основными показателями должны являться не только эффективность проведения технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), но и соответствие технического состояния автобуса [1-3].

Следовательно, проблема определения безопасности транспортных перевозок на автобусе носит не только технический, но и социально-экономический характер. Прямым показателем безопасности предоставляемых услуг является показатель качества, включающий в себя не только безопасность, но и множество других немаловажных критериев.

Материалы и методы

Сложная система технической эксплуатации автобусов (ТЭА) определяется тремя основными группами факторов: транспортными, дорожными, природно-климатическими; уровнем механизации, квалификацией персонала и иными неопределенные факторы внешней среды, возникающими в процессе эксплуатации автобуса [4-5].

К первой группе относятся все факторы, зависящие от нагрузки на дорожную сеть, состояния дорожного покрытия и природно-климатических условий. Влияние первой группы на безопасность дорожного движения прямое, и определить их значения не представляется возможным, так как все эти условия могут меняться без какой-либо предсказуемой зависимости в положительную или отрицательную сторону. В таблице 1 представлена зависимость коэффициента сцепления автомобильного колеса с дорогой в зависимости от погодных условий. Коэффициент сцепления один из основных показателей безопасности дорожного движения.

Таблица 1

Зависимость коэффициента от погодных условий

Погодные условия	Коэффициент сцепления
Сухая дорога	0,7-0,9
Мокрая дорога	0,4-0,5
Грязь или снег	0,2-0,3
Лёд	0,1

Ко второй группе относятся факторы, зависящие от личной квалификации персонала и типа автотранспортного предприятия и его уровня механизации. Влияние второй группы на безопасность дорожного движения тоже прямое, но, на этот раз, есть возможность определить степень их воздействия на процесс перевозки пассажиров. Уровень механизации влияет на множество факторов системы ТЭА, одним из которых является коэффициент технической готовности (КТГ). Зависимость КТГ от уровня механизации автотранспортного предприятия (АТП) представлена на рисунке 1.

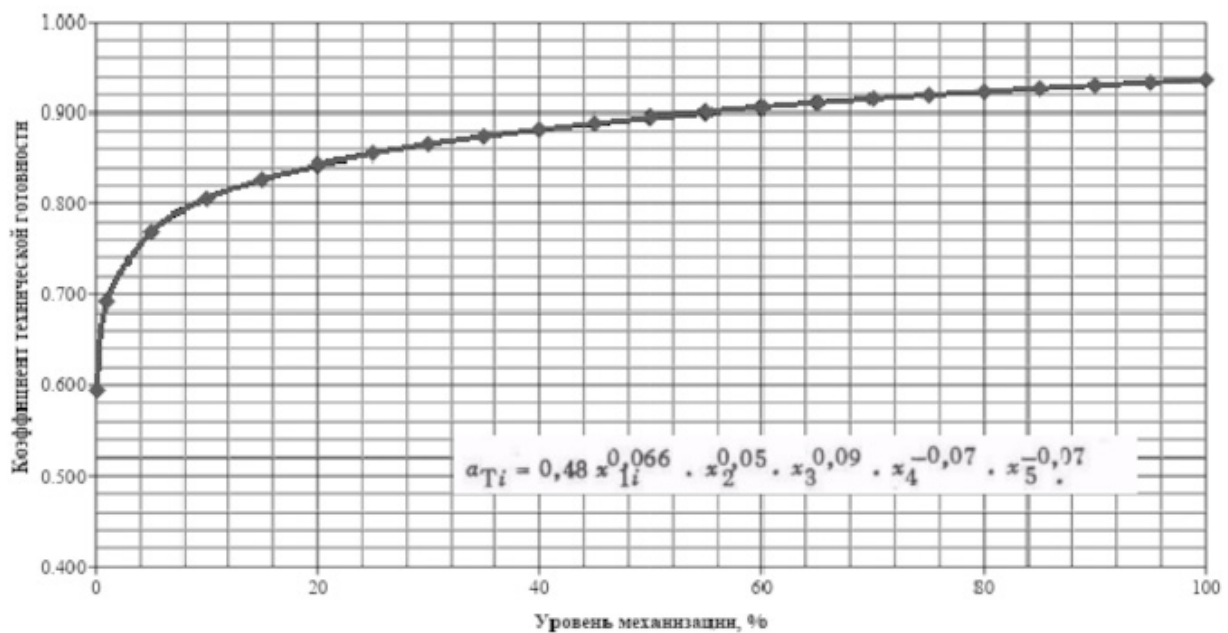


Рис. 1. Зависимость КТГ от уровня механизации АТП

Третья группа факторов, как и две предыдущие, напрямую влияет на качество перевозок, но, на этот раз, может зависеть от десятков различных показателей, постоянно изменяющихся во время эксплуатации ПС. Процесс определения влияния данной группы довольно сложная задача и, зачастую, она сводится к определению пары показателей, на основе которых и определяется качество перевозок.

В настоящее время определить влияние третьей группы факторов возможно с помощью коэффициента сохранения эффективности (КСЭ). КСЭ – отношение значения показателя эффективности использования изделия по назначению за время в течении определенного периода к номинальному значению этого показателя, который рассчитывается при условии, что отказы объекта в течение данного периода не возникают. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что данный коэффициент зависит от любого изменения надежности или эффективности пассажирского транспорта, что говорит о наиболее полном отражении значения качества и, соответственно, безопасности автомобильных перевозок. Следовательно, данный коэффициент возможно использовать для получения практически любого показателя ТЭА ПС [6-8].

Таким образом, развитие модели КСЭ позволит производить расчеты качества автобусных перевозок не только с учетом ТО и Р, но и надежности ПС, эффективности применения по назначению, оценки экологической эффективности, а также включая некоторые другие показатели качества [9]. Все это говорит о более сложной системе контроля, позволяющей обеспечить наиболее эффективный и, при этом, безопасный процесс перевозки пассажиров и обеспечивающей возможность более точного контроля за техническим состоянием ТС.

В современной практике, в основном, используются, только коэффициент технической готовности и коэффициент технического использования, задачей которых является определение технической исправности автобуса, что говорит о возможности перевозки им пассажиров, но не дает ответ на вопрос о безопасности предоставляемых услуг [10].

На рисунке 2 продемонстрирована зависимость КТГ от пробега ТС автобусного парка при различных типах проводимого технического обслуживания в течении эксплуатации.

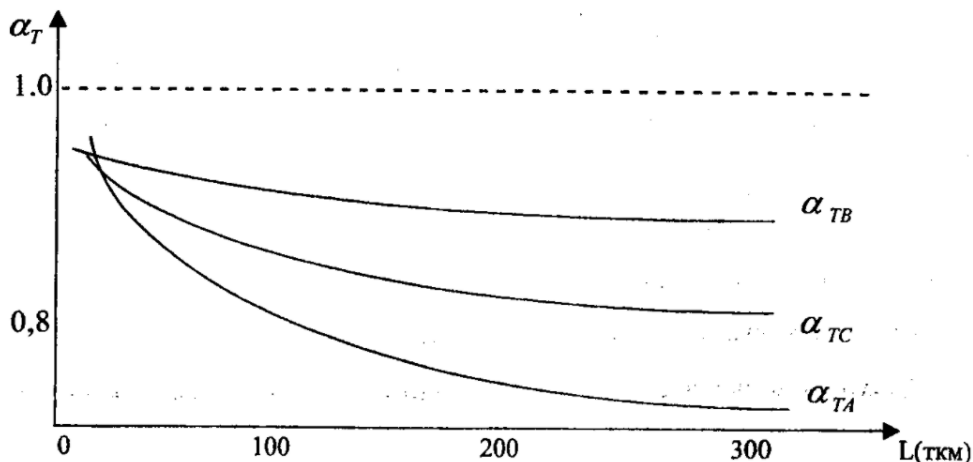


Рис. 2. Зависимость коэффициента технической готовности в зависимости от пробега ТС

Наиболее эффективным является обслуживание согласно плановому порядку, на графике оно отмечено индексом В. Под индексом А отображен самый неэффективный способ технического обслуживания, а именно устранение неисправностей в процессе их проявления. Под индексом С показана смешанная модель обслуживания ТС.

Мы рассмотрели только один показатель эффективности проведения технического обслуживания. Но КСЭ позволит учитывать практически бесконечное количество подобных коэффициентов, что обеспечит наиболее точное определение качества и безопасности предоставляемых услуг на общественном транспорте.

Выводы

С помощью КСЭ возможно определять практически любые задачи с большим количеством критериев. Также, возможно составление динамической системы контроля за парком ПС, с отслеживанием каждого из критериев в реальном времени. Также в процессе использования КСЭ в системе ТЭА пассажирского автотранспортного предприятия формируется единый иерархический уровень основных критериев качества, а именно: безопасность, работоспособность, затраты на эксплуатацию. Все это позволит в реальном времени отслеживать безопасность предоставляемых услуг автобусных перевозок в Российской Федерации.

Литература

1. *Иванов И. А., Терентьев А. В.* Аналитическая модель формирования автобусных маршрутов в цифровой транспортной экосистеме // Вестник гражданских инженеров. 2020. №5 (82). С. 194-198.
2. *Карелина М. Ю., Арифиллин И. В., Терентьев А. В.* Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1(52). С. 3-9.
3. *Кирьенко Д. К., Терентьев А. В.* Влияние непланового текущего ремонта на рациональный срок службы автотранспортного средства. // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 4(57). С. 178-182.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020611000 Российская Федерация. Система многокритериальной оценки коэффициента сохранения эффективности автобусов : № 2019667849 : заявл. 31.12.2019 : опубл. 23.01.2020 / К. К. Тайсаев, С. А. Евтюков, А. В. Терентьев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617737 Российская Федерация. Система определения рационального срока службы подвижного состава автотранспортного предприятия : № 2017614732 : заявл. 24.05.2017 : опубл. 11.07.2017 / А. С. Афанасьев, И. В. Тарасов, А. В. Терентьев ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».
6. *Тайсаев К. К., Терентьев А. В.* Аналитическая модель определения коэффициента сохранения эффективности автобусов // Вестник гражданских инженеров. 2020. №4 (81). С. 197-202.
7. *Терентьев А. В., Беляев А. И.* К вопросу развития системы управления жизненным циклом автомобиля. // Транспорт Российской Федерации. 2015. № 5(60). С. 57-59.
8. *Терентьев, А. В.* Методы решения автотранспортных задач // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-2. С. 78.
9. *Терентьев А. В.* Многокритериальный показатель качества автомобиля // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1(48). С. 201-204.
10. *Терентьев А. В.* Управление жизненным циклом автомобиля на стадии эксплуатации. // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3(50). С. 228-231.
11. *Гулямов К.Х., Гуломзода А.Х.* Разработка и исследование повышающего преобразователя постоянного напряжения // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 4 (51). С. 55-61.
12. *Долина О.Н., Жидкова М.А., Штилькина Т.А., Ахметжанова Э.У.* Реализация политики импортозамещения в автомобильной промышленности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 2 (49). С. 22-28.
13. *Пузаков А.В., Осаулко Я.Ю.* Исследование влияния эксплуатационных факторов на тепловое состояние автомобильного генератора // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1 (52). С. 16-23.
14. *Надараина Ц.Г., Селиванов А.И., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Бабкина Л.А.* Химико-кинетический накопитель энергии и мотор-редуктор для электромобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 1 (48). С. 12-17.
15. *Козлов А.Н.* Организация безопасной эксплуатации тяговой литий-ионной аккумуляторной батареи на транспортном средстве // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2016. № 1 (44). С. 14-19.
16. *Мельникова Т.Е., Мельников С.Е., Завязкина В.В.* Электромобили: перспективы и пути развития // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2019. № 3 (58). С. 22-26.
17. *Блудян Н.О.* Перспективы развития электрических автобусов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. № 3 (62). С. 19-24.