

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА ПРИ ВЕДЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ, ХИМИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

Д.С. Алексеев, А.Ф Железняк (Кострома)

Опыт применения и практика эксплуатации в войсках специальных машин радиационной, химической и биологической (РХБ) разведки и специальных машин расчётно-аналитических подразделений, в том числе, и в Сирийской Арабской Республике, вскрыла ряд проблемных задач по предназначению:

– сбор информации о фактической РХБ обстановке осуществляется, в основном, голосом по открытым телефонным каналам связи, в связи с чем не в полном объёме выполняются требования по оперативности и скрытности управления, т.к. открытые телефонные радиоканалы системы выявления РХБ обстановки достаточно легко могут быть вскрыты средствами РЭБ противника и подавлены;

– не удалось организовать обмен данными между основной машиной РХБ разведки РХМ-6 (РХМ-4) и основной машиной расчётно-аналитических подразделений РАГ-3 (РАСТ-3), а причины отсутствия обмена данными не вскрыты;

– при ведении РХБ разведки на заводских настройках бортовых комплексов обмена данными одновременно более чем пятью единицами РХМ-6, происходит срыв обмена данными, причины такого срыва также не изучены.

Таким образом, весьма актуальным и практически значимым для существующей системы выявления РХБ обстановки является проведение научного исследования, позволяющего оценить эффективность данной системы с точки зрения информационного обмена между её элементами, учесть факторы, влияющие на её функционирование, определить причины неэффективной реализации возможностей существующей системы и разработать рекомендации по повышению её эффективности.

Отличительной особенностью информационного обмена в системе выявления РХБ обстановки является то, что такой обмен осуществляется по полудуплексным каналам обмена данными с установленной периодичностью (периодичность задаётся командиром и определяется точностью определения РХБ заражения на местности). Чем меньше период, т.е. дискретность интервалов, через которые представляется информация, тем более точной информацией владеет командир. В идеале, информация о РХБ заражении должна представляться мгновенно (период представления сообщений стремится к нулю). Однако выполнение требования о нулевом периоде представления информации достаточно трудно соотнести с ограниченной пропускной способностью полудуплексных каналов обмена данными; с требуемым количеством разведывательных химических машин, принимающих участие в РХБ разведке (количеством аппаратуры передачи данных (АПД) в системе); большими объёмами информационного обмена. Таким образом, используя возможности, представляемые имитационным моделированием, необходимо найти оптимальное количество машин, принимающих участие в РХБ разведке, наименьший возможный период представления сообщений, оптимальную скорость обмена информацией, при условии выполнения всех указанных выше ограничений.

Структура имитационной модели информационного обмена в системе выявления РХБ обстановки приведена на рисунке 1.

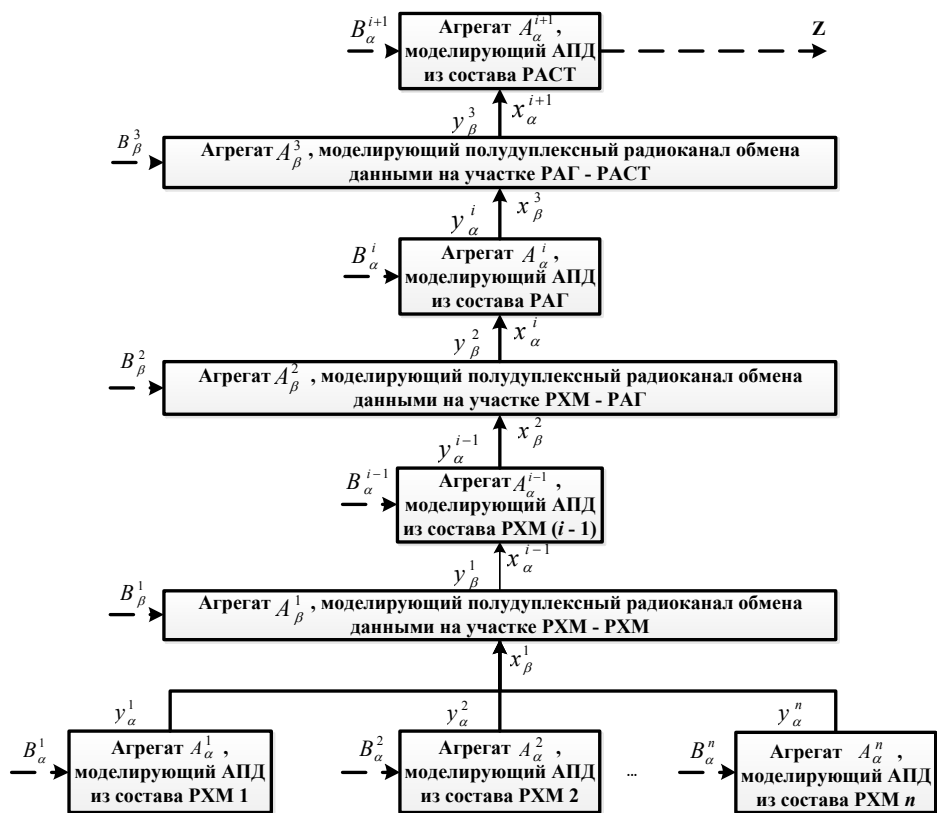


Рис.1 – Структура модели информационного обмена в системе выявления PXM обстановки

В качестве агрегатов выступают математические объекты, с помощью которых генерируются и преобразуются необходимые процессы. Функция агрегата $A_q, q = 1, 2, \dots, Q$ представляется в алгоритмической форме – в виде процедуры $A_q = (x_1, \dots, x_n; b_1, \dots, b_l; y_1, \dots, y_m)$, где параметры x_1, \dots, x_n определяют состояние входов агрегата, b_1, \dots, b_l – режим его функционирования, а y_1, \dots, y_m состояние выходов агрегата. В модели агрегат выглядит как модуль, настраиваемый на заданный режим функционирования множеством параметров $B_q = \{b_1, \dots, b_l\}$ и преобразующий входные воздействия $X_q = \{x_1, \dots, x_n\}$ в выходные состояния $Y_q = \{y_1, \dots, y_l\}$ в соответствии с функцией агрегата и значениями параметров [1].

Особенно важным представляется выполнение требования о том, что имитационная модель собирается путём соединения выходов агрегатов с входами других агрегатов. При этом значения, формируемые на *выходах* агрегатов, переносятся на *входы* связанных с ними агрегатов [1]. Таким образом, выходные значения одних агрегатов должны быть понятны и совместимы с входными значениями других агрегатов. В том случае, если выходные значения одних агрегатов не соответствуют входным значениям вышестоящих агрегатов, то модель работать не будет, т.е. ещё на этапе анализа структурной схемы имитационной модели имеется возможность понять причины отсутствия информационного обмена между элементами реальной системы.

Например, анализ канала обмена данными PXM-4 – PXM-6, структурная схема которого представлена на рисунке 2, позволяет сделать вывод о том, что информационный обмен по каналам обмена данными между PXM-4 и PXM-6 невозможен, так как каналобразующие средства (радиостанции) разведывательных химических машин используют разные типы каналов для обмена данными:

– в PXM-4 используется тип канала для модема тональной частоты (ТЧ) по

радиоканалу (стык С1-ТЧР), а в РХМ-6 используется тип канала для биимпульсного модема по физической линии (стык С1-ФЛ-БИ);

- передача данных в цепях стыка С1-ФЛ-БИ осуществляется импульсными сигналами со скоростями до 48 кбит/с (ГОСТ 24174-80), а обмен по стыкам С1-ТЧР производится модулированными сигналами в рабочей полосе частот каналов ТЧ со скоростью 1,2 кбит/с (ГОСТ 23578-79);

- спектр сигналов канала постоянного тока занимает полосу от 0 до $G/2$ Гц (где G – максимальная пропускная способность, бит/с), а спектр канала тональной частоты – от 300 до 3400 Гц, т.е. спектры не перекрываются или перекрываются частично;

- амплитудное значение линейного сигнала для стыка С1-ФЛ-БИ составляет 1,0 В, а измерительная точка сопряжения приёмника УПС с радиоприёмным устройством для канала ТЧ составляет, как правило, -3,5 дБ.

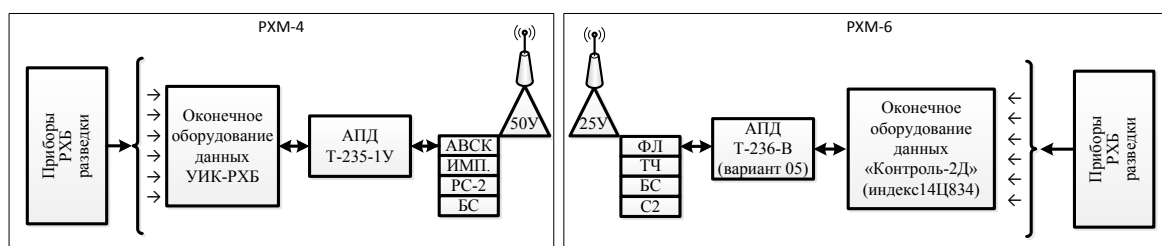


Рис.2 – Структурная схема канала обмена данными РХМ-4 – РХМ-6

Именно отличия в параметрах стыков С1-ТЧР и С1-ФЛ приводят к отсутствию обмена данными между РХМ-4 и РХМ-6, а так как специальные машины расчётно-аналитических подразделений РАГ-3 (РАСТ-3) имеют канал обмена данными, аналогичный РХМ-4, то информационное взаимодействие по передаче данных между основной на сегодня машиной РХБ разведки РХМ-6 и основной машиной расчётно-аналитических подразделений РАГ-3 (РАСТ-3) также не представляется возможным.

Полудуплексный канал обмена данными является основным каналом, по которому осуществляется обмен данными в существующей системе выявления РХБ обстановки. Особенностью такого канала является то, что в любой момент времени данный канал может занимать только один корреспондент, а для остальных корреспондентов канал занят. Проблема использования общего канала обмена данными несколькими пользователями представляет собой классическую проблему параллельного программирования. Два параллельных процесса, в качестве которых выступают радиостанции элементов системы выявления РХБ обстановки, выполняют свои программы, и, время от времени, должны использовать общий ресурс (канал обмена данными), захватывая его в исключительное пользование. Если в то время, когда ресурсом пользуется один процесс (одна из радиостанций включена на передачу, занимая канал), этот ресурс попытается использовать другой процесс (включится «высокое» напряжение на другой радиостанции), это может привести к ошибочной ситуации и срыву работы у обеих радиостанций. Таким образом, одновременная работа двух и более корреспондентов для такого канала обмена данными не допускается. Решение подобной задачи предложено Э. Дейкстрой [2] на основе понятия флагов. Однако, при увеличении корреспондентов более двух, применение алгоритм Дейкстры приводит к значительному усложнению модели, поэтому принцип поочерёдного занятия корреспондентами канала обмена данными реализован в агрегате «маршрутизатор» общей имитационной модели системы выявления РХБ обстановки.

Общий замысел имитационной модели следующий. В сети обмена данными имеется N абонентов, передающих сообщения друг другу. Промежутки времени между

поступлениями рабочих пакетов распределены по экспоненциальному закону, а длительность рабочих пакетов и квитанций распределена по нормальному закону [3]. Качество сети характеризуют следующие показатели: коэффициент (вероятность) пропускной способности сети, среднее время передачи сообщений (пакетов), вероятность потери сообщений (пакетов). Кроме того, важным с точки зрения противодействия средствам РЭБ противника представляется параметр, характеризующий среднее время занятия полудуплексного канала обмена данными. Данный параметр показывает общее (суммарное) время излучения радиостанций всех элементов системы выявления РХБ обстановки за единичный цикл обмена, что важно с точки зрения защиты от средств РЭБ противника.

Таким образом, в качестве параметров, подлежащих отображению в разрабатываемой системе, предлагается использовать: коэффициент пропускной способности сети для максимально возможного количества абонентов N при заданной скорости передачи информации; среднее время передачи сообщений (пакетов); вероятность потери сообщений (пакетов); среднее время занятия канала.

В соответствии с данной постановкой задачи, адресация в имитационной модели организована посредством маршрутизатора, выполняющим в реальной системе функцию взаимодействия абонентов, как показано на рисунке 3.

Маршрутизатор имеет n входов и n выходов, моделируя возможность передачи данных «от каждого всем». В маршрутизаторе данные обрабатываются с задержкой по времени. Аналогичной времени обработки данных в аппаратуре передачи данных. Величина задержки определяется временем, необходимым для обработки принятого сообщения. Приняты допущения, что канал обмена данными идеален, т.е. воздействие помех отсутствует, а обработка данных происходит мгновенно, т.е. длительность обработки сообщения соответствует длительности самого сообщения. Данные после обработки в АПД, в зависимости от направления передачи, поступают в соответствующие буферы, стоящие на выходах (элемент, моделирующий выходную часть АПД) каждого направления.

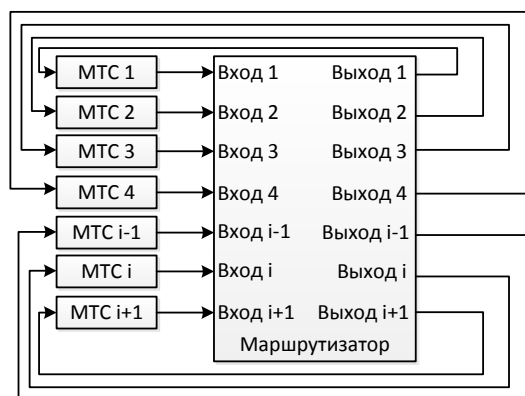


Рис.3 – Общая модель сети обмена данными

Буфер предназначен для контроля переполнения направления связи в случае полного заполнения буфера данными, поступающее сообщение теряется. Из буферов сообщения передаются по своим направлениям. Каждое направление предусматривает только основной канал обмена данными, что соответствует реальной разведывательной химической машине РХМ-6. Вариант сети обмена данными для семи абонентов при принятых условиях и допущениях представлен на рисунке 4.

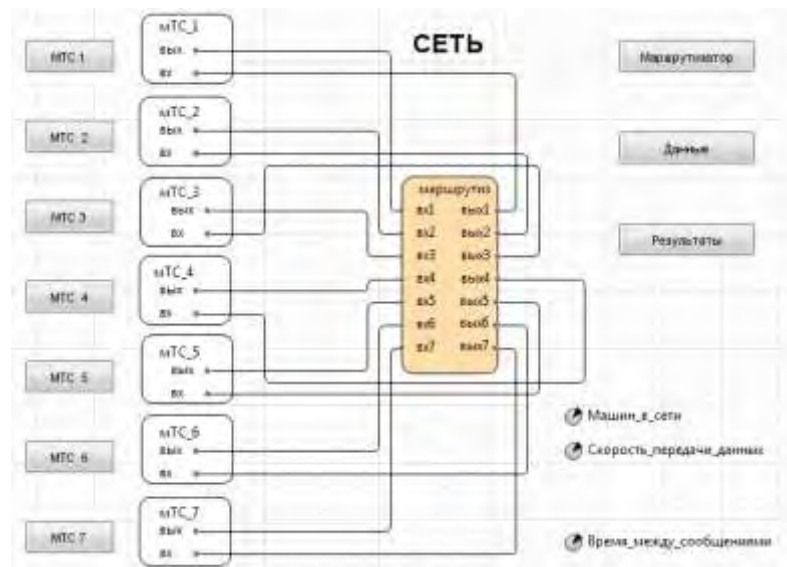


Рис.4 – Вариант модели сети обмена данными

Сообщения от каждого абонента – мобильного транспортного средства (МТС), может поступить любому другому абоненту, кроме самого себя. Невозможность одновременной работы двух и более абонентов обеспечивается генерацией сообщений с помощью общего для всех модулей агента с набором параметров: «ном_Аб_Отпр» – номер абонента-отправителя сообщения; «ном_Аб_Получ» – номер абонента-получателя сообщения; «время_Отправления» – время отправления сообщения абонентом; «длина» – длина сообщения, байт; «время_Обработки» – время обработки сообщения АПД, секунд; «время_Передачи» – время передачи сообщения по каналу связи, секунд. Параметр номера абонента получателя сообщения получается путём генерации случайного значения по количеству абонентов в сети.

В реальной системе АПД входит в состав мобильного транспортного средства, однако в модели целесообразнее выделить этот блок в обобщённый элемент, через который проходят все сообщения. Таким элементом в модели является маршрутизатор. В маршрутизаторе выделены блок контроля, буфер аппаратуры передачи данных, аппаратура передачи данных, накопители направлений связи, как показано на рисунке 5.

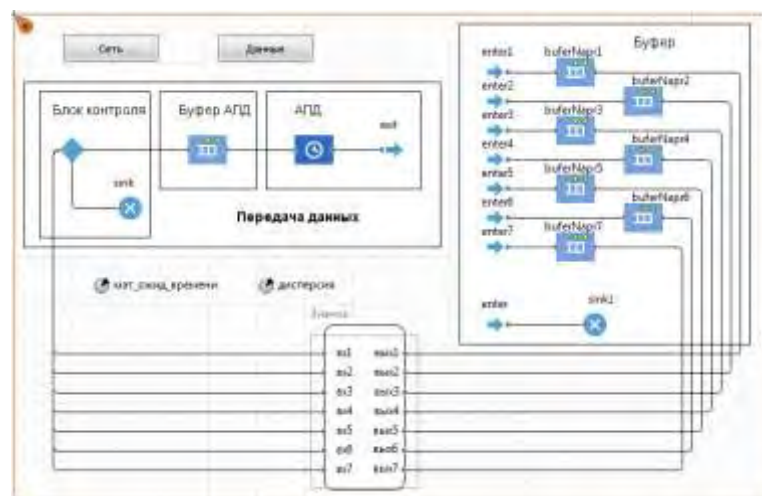


Рис.5 – Реализация маршрутизатора средствами AnyLogic
При моделировании собирается следующая статистическая информация:

количество отправленных в сети сообщений; количество полученных в сети сообщений; количество отправленных сообщений каждым абонентом каждому абоненту сети; количество полученных сообщений каждым абонентом от каждого абонента; время отправки каждого сообщения; время получения каждого сообщения. По этим статистическим данным рассчитываются: коэффициент пропускной способности; коэффициент потерь; среднее время доведения сообщения; среднее время занятия полудуплексного канала обмена данными. Для набора статистических данных в ходе имитационного моделирования осуществлялось по 200 прогонов каждого варианта сочетания исходных параметров. Изменение этих параметров в имитационной модели позволило получить результаты, представленные на рисунке 6 и обобщённые в таблице 1.



Рис.6 – Результаты имитационного моделирования при скорости передачи информации $v = 1,2 \text{ кбит/с}$ и количестве АПД $N = 2$

Анализ результатов «прогона» имитационной модели системы выявления РХБ обстановки при периоде представления сообщений 30 секунд позволяет установить:

- на скорости $v = 1,2 \text{ кбит/с}$ при периоде представления сообщений 30 секунд (заводские настройки) срыв работы системы происходит при количестве АПД (разведывательных химических машин) в системе более пяти, т.е. когда суммарное время излучения всех радиостанций больше периода представления сообщений (выделено красным курсивом); на скорости $v = 2,4 \text{ кбит/с}$ максимально возможное допустимое количество одновременно работающих АПД в системе равно семи; при $v = 4,8 \text{ кбит/с}$ – одиннадцати, на скорости $v = 9,6 \text{ кбит/с}$ – семнадцати и т.д.;

- причиной срыва работы системы является переполнение буфера АПД, которое происходит из-за превышения суммарного времени занятия канала обмена данными за единичный цикл обмена информацией над периодом представления сообщений, т.е. условие устойчивой работы определяется неравенством $T_{\text{изл.}} < T$.

Синяя линия графика на рисунке 7 является графическим решением задачи, которое показывает предельно допустимое количество АПД в системе при заданной скорости обмена информацией и определённом периоде ($T = 30 \text{ с}$) представления сообщений.

Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования при периоде представления сообщений 30 секунд

Количество АПД, ед.	Среднее время, с		Коэффициент (вероятность) готовности	Вероятность потери сообщений
	доведения сообщений	занятия полудуплексного канала		
$v = 1,2 \text{ к ум / с}$				
2	4,07	8,14	1,0	0
3	4,68	14,05	1,0	0
4	5,29	21,19	1,0	0
5	5,91	29,55	1,0	0
6	6,52	39,13	0,89	0,11
$v = 2,4 \text{ к ум / с}$				
6	3,26	19,56	1,0	0
7	3,56	24,97	1,0	0
8	3,87	30,98	0,89	0,11
$v = 4,8 \text{ к ум / с}$				
10	2,23	22,37	1,0	0
11	2,39	26,30	1,0	0
12	2,54	30,52	0,88	0,12
$v = 9,6 \text{ к ум / с}$				
16	1,57	25,24	1,0	0
17	1,65	28,11	1,0	0
18	1,73	31,14	0,76	0,24
$v = 16 \text{ к ум / с}$				
22	1,22	26,92	1,0	0
23	1,26	29,20	1,0	0
24	1,31	31,57	0,73	0,27

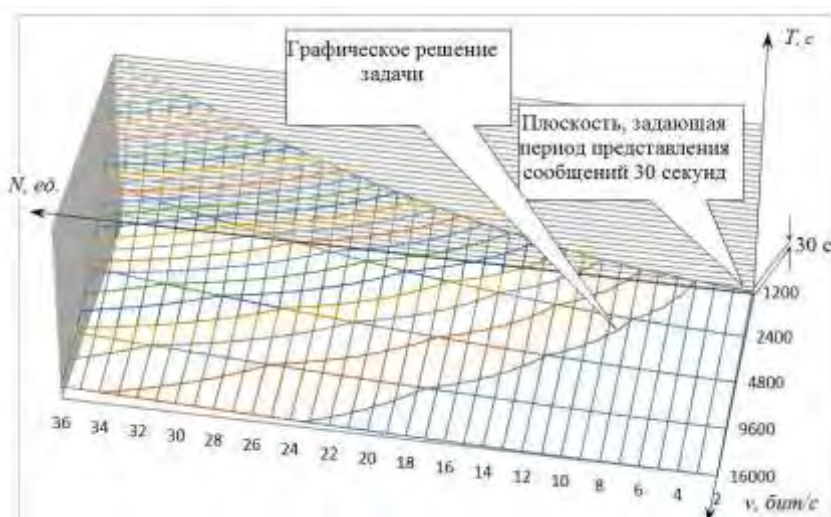


Рис.7 – График зависимости суммарной длительности излучения в системе выявления РХБ обстановки от количества АПД в системе, скорости обмена информацией и периода представления сообщений

Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации командирам подразделений РХБ разведки по настройке бортовых комплексов обмена данными в системе выявления РХБ обстановки, учитывающими: количество АПД в системе; скорость обмена данными; период представления сообщений (донесений); наличие или отсутствие воздействия средств РЭБ противника.

Алгоритм работы командира подразделения РХБ разведки при выборе настроек бортового комплекса обмена данными имеет вид, представленный на рисунке 8.

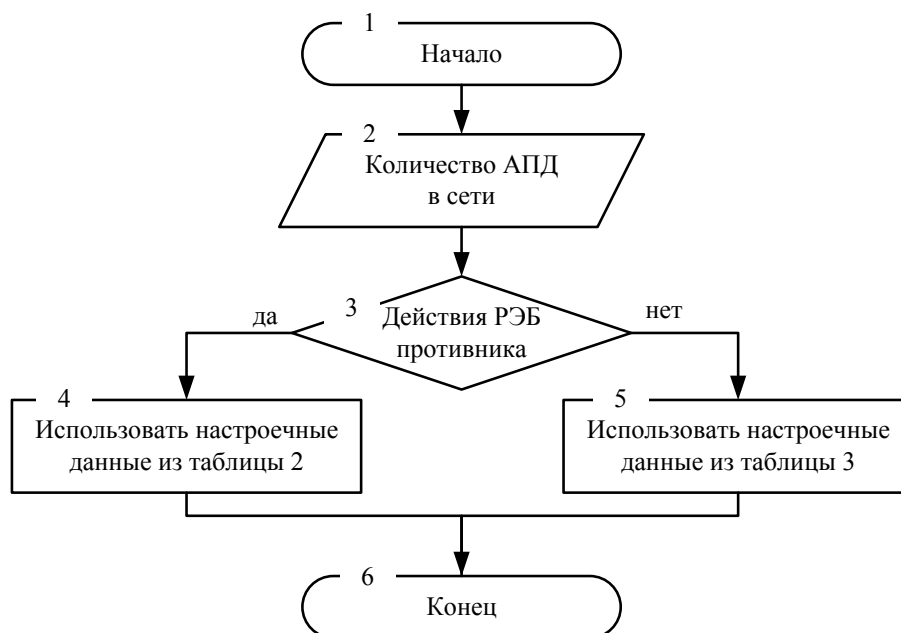


Рис.8 – Алгоритм выбора настроек бортового комплекса обмена данными РХМ-6

Вывод о возможности или невозможности одновременной работы нескольких АПД при определённых настройках делался на основании ограничения, связанного с периодом представления сообщений. Это ограничение «мягкое», т.к. существует возможность изменения оператором периода представления сообщений, например, в сторону его увеличения. Однако существует и более «жёсткое» ограничение, связанное с временем вскрытия радиолиний РХБ разведки средствами РЭБ противника. По оценкам [4] время вскрытия радиолиний в УКВ диапазоне составляет не более 10 секунд. Бурное развитие средств РЭБ корректирует эту величину в сторону уменьшения, но для расчётов используем это значение.

Первоначально командир определяет, осуществляется ли выполнение задач РХБ разведки в условиях воздействия средств РЭБ противника:

- при подтверждении факта воздействия средств РЭБ противника (районы международных военных конфликтов, антитеррористические операции, выполнение задач по борьбе с эпидемиями за пределами РФ) необходимо использовать таблицу 2;
- в случае отсутствия воздействия средств РЭБ противника (ликвидация аварий техногенного характера, разрушение РХБ опасных объектов, экологические бедствия на территории РФ и т.д.) командир подразделения РХБ разведки для выбора оптимальных настроек пользуется данными таблицы 3.

Расчёты, основанные на методике, приведённой в [5], показывают значительное улучшение параметров информационного обмена в системе выявления РХБ обстановки в том случае, если информационный обмен осуществляется не только по открытым телефонным каналам связи, но и по закодированным каналам обмена данными:

Таблица 2 – Настроечные данные бортовых комплексов обмена данными при воздействии средств РЭБ противника

Скорость обмена данными, кбит/с	Допустимое количество АПД в системе, ед.
период представления донесений 30 секунд	
1,2	2
2,4	3
4,8	6
9,6	9
16,0	12

Таблица 3 – Настроечные данные бортовых комплексов обмена данными без воздействия средств РЭБ противника

Скорость обмена данными, кбит/с	Допустимое количество АПД в системе, ед.
период представления донесений 30 секунд	
1,2	5
2,4	7
4,8	11
9,6	17
16,0	23

– коэффициент связности информационного обмена в системе выявления РХБ обстановки увеличивается на 0,15 (с 0,55 до 0,7);

– при работе по каналам обмена данными, по оценке автора, в несколько раз (в зависимости от скорости обмена информацией) уменьшается суммарное время излучения радиостанций системы выявления РХБ обстановки и, как следствие, время анализа средствами РЭБ противника данных излучений;

– доля каналов, по которым передаётся закодированная информация с использованием аппаратуры передачи данных, повышается на 0,38 (с 0,42 до 0,8).

Сравнительная оценка эффективности существующей и предлагаемой системы выявления РХБ обстановки приведена на рисунке 9.



Рис.9 – Сравнительная оценка эффективности существующей и предлагаемой системы выявления РХБ обстановки

Анализ результатов имитационного моделирования информационного обмена в системе выявления РХБ обстановки позволил сделать следующие выводы:

1. Для организации информационного обмена в системе выявления РХБ обстановки необходимо обеспечить совпадение типов каналов (информационных стыков) для всех элементов системы.

2. Суммарная длительность информационных сообщений от всех машин РХБ разведки (или суммарное время занятия полудуплексного канала обмена данными за единичный цикл обмена информацией), являющаяся функцией двух величин – количества АПД в системе $N(\text{ед.})$ и скорости обмена данными ν (бит/с), – должна быть меньше периода представления сообщений, т.е. $T_{\text{изл.}} < T$. Несоблюдение этого требования приводит к срыву работы системы, причиной которого является переполнение буфера АПД той машины, выход в эфир для которой запрещён из-за того, что цикл обмена остальных машин не закончен.

3. Для обеспечения устойчивой работы системы по каналам обмена данными разработан алгоритм работы командира подразделения РХБ разведки при выборе настроек бортового комплекса обмена данными РХМ-6 при воздействии средств РЭБ противника и без такого воздействия.

Литература

1. **Буренок В.М.** Методы военно-научных исследований систем вооружения. [Текст]: военно-теоретический труд. / В.М. Буренок. – М.: Издательство «Граница», 2007. – 512 с.
2. **Дейкстра Э.** Взаимодействие последовательных процессов. Языки программирования [Текст]: учебник / редакция Ф. Желуи. – М.: Мир, 1972. – С. 9-96.
3. **Боев В.Д.** Практическое применение имитационного и комплексного моделирования и средств автоматизации управления [Текст]: статья / В.Д. Боев и др. // ИММОД-2013. Материалы 4-ой всероссийской конференции по имитационному моделированию. – СПб: Национальное общество имитационного моделирования, 2013. – 141 с.
4. **Михайлов Р.Л.** Радиоэлектронная борьба в Вооружённых Силах США [Текст]: военно-теоретический труд / Р.Л. Михайлов. – СПб: Научно-технологические технологии, 2018. – 131 с.
5. **Боговик А.В.** Эффективность систем военной связи и методы её оценки. Монография / А.В. Боговик, В.В. Игнатов. – СПб: ВАС, 2006. – 210 с.