

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

А.М. ГОЛИКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО
ТВ ВЕЩАНИЯ СТАНДАРТА DVB-S2 НА БАЗЕ ПО МАТЛАВ**

Учебно-методическое пособие по лабораторной работе

Томск 2019

Голиков, А. М. Исследование модели системы спутникового ТВ вещания стандарта DVB-S2 на базе MATLAB: Учебно-методическое пособие по лабораторной работе [Электронный ресурс] / А. М. Голиков. — Томск: ТУСУР, 2019. — 31 с.

В лабораторной работе проводится исследование системы спутникового ТВ вещания стандарта DVB-S2 на основе разработки программы для моделирования такой системы в среде MATLAB. Лабораторная работа предназначена для направления подготовки магистров 11.04.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" по магистерским программам подготовки: "Радиоэлектронные системы передачи информации", "Оптические системы связи и обработки информации", "Инфокоммуникационные системы беспроводного широкополосного доступа", "Защищенные системы связи", для направления подготовки магистров 11.04.01 "Радиотехника" по магистерской программе подготовки: "Радиотехнические системы и комплексы", "Радиоэлектронные устройства передачи информации", "Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов", "Видеоинформационные технологии и цифровое телевидение" и специалитета 11.05.01 "Радиоэлектронные системы и комплексы" специализации "Радиолокационные системы и комплексы", "Радиоэлектронные системы передачи информации", "Радиоэлектронные системы космических комплексов", а также бакалавриата направления 11.03.01 "Радиотехника" (Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов), бакалавриата 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (Системы мобильной связи, Защищенные системы и сети связи, Системы радиосвязи и радиодоступа, Оптические системы и сети связи) и может быть полезна аспирантам.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Теоретические сведения	5
1.1 Стандарт DVB-S	5
1.2 Причины появления DVB-S2	10
1.3 Схемы модуляции и способы помехозащитного кодирования ...	11
2 Практическая часть	15
2.1 Результаты работы	18
Заключение	22
Приложение А Программный код	23
Приложение Б Методика проведения исследования	26
Приложение В Созвездия фазовой и амплитудно-фазовой манипуляции	28

Введение

DVB (англ. *Digital Video Broadcasting* — цифровое видео вещание) — семейство стандартов цифрового телевидения, разработанных международным консорциумом DVB Project.

В 1991 году ведущие телерадиокомпании и производители специальной техники основали организацию European Launching Group (ELG). В 1993 году ELG самопереименовалась в Digital Video Broadcasting Project (DVB Project). Первым стандартом цифрового телевидения, разработанным DVB Project, стал стандарт для спутникового телевидения DVB-S.

DVB-S2 — второе поколение спутникового вещания, стандарт на вещание цифрового телевидения, который станет преемником DVB-S

1 Теоретические сведения

1.1 Стандарт DVB-S

Спутниковое (SAT) TV вещание было и остается самым быстрым, надежным и экономичным способом подачи TV сигнала высокого качества в любую точку обширного пространства.

Все вещательные искусственные спутники Земли (ИСЗ) размещаются на так называемой геостационарной орбите (ГО) – круговой орбите высотой ~36000 км в плоскости экватора. Находясь на ГО, спутник неподвижен относительно поверхности Земли, т.к. вращается с той же угловой скоростью, что и Земля. Зона видимости геостационарной ИСЗ – около одной трети земной поверхности.

Для SAT вещания выделены специальные участки радиочастотного спектра в сантиметровом диапазоне волн, где допускается повышенная плотность потока мощности с ИСЗ. Наиболее освоен участок К U-диапазона с частотами 11,7...12,5 ГГц. Вещательную мощность ИСЗ в данной точке приема принято характеризовать эквивалентной изотропно излучаемой мощностью (Р ЭИИМ), представляющей собой произведение выходной мощности передатчика ИСЗ на коэффициент усиления передающей антенны в данном направлении. Р ЭИИМ обычно выражается в дБ×Вт (dBW) и обычно составляет 45...60 dBW. В соседних диапазонах 10,7...11,7 ГГц и 12,5...12,75 ГГц вещают спутники так называемой фиксированной спутниковой службы с типовыми значениями Р ЭИИМ 38...52 dBW.

Одной из особенностей применения ИСЗ является ограниченность энергетического потенциала спутникового ретранслятора, в силу чего в SAT вещании традиционно используют методы обработки, требующие минимального отношения несущая/шум (C/N) на входе демодулятора в обмен, например, на полосу частот сигнала. В аналоговом вещании это был выбор частотной модуляции (вместо аналоговой), а в цифровом вещании приходится применять мощное каскадное помехоустойчивое кодирование и модуляцию с невысокими кратностями (например, QPSK вместо более высокоскоростной 16 QAM). Дополнительной особенностью цифрового SAT вещания является тот факт, что многопрограммное вещание осуществляется за счет мультиплексирования в цифровом потоке, а работа передатчика ИСЗ осуществляется только на одной несущей в нелинейном режиме, что позволяет повысить его выходную мощность на 2,5...4 dB. Такое повышение энергетики эквивалентно уменьшению диаметра рефлектора приемной антенны в 2 раза в сравнении с приемом сигналов аналогового вещания.

В 1994г. в рамках консорциума DVB Project был создан Европейский стандарт спутниковой цифровой системы многопрограммного TV вещания - стандарт DVB-S, работающий в полосе частот 11/12 ГГц (European Standard EN 300 421 v.1.1.2, 1997-08). Для целей SAT вещания выделены полосы частот в диапазонах 12, 29, 40 и 85 ГГц. В диапазонах 40 ГГц и 85 ГГц выделен спектр частот шириной в 2 ГГц.

В октябре 1996г. был принят проект Рекомендации по общим функциональным требованиям к многопрограммным системам SAT вещания в полосе частот 11/12 ГГц, а уже в октябре 1999г. был выработан проект новой Рекомендации, учитывающей, что в мире существуют четыре схожие по архитектуре системы: стандарт DVB-S (Система А), DSS (Система В), G1-MPEG-2 (Система С) и ISDB-S (Система D).

Система А (стандарт DVB-S) разработана европейским консорциумом DVB Project и предназначена для доставки служб многопрограммного TV вещания или ТВЧ в частотных диапазонах фиксированной и радиовещательной SAT служб (10,7...12,75 ГГц) с их непосредственным приемом на домашние интегральные приемники-декодеры, а также на приемники, подключенные к системам с SAT коллективными ТВ антеннами SMATV (Satellite Master Antenna TV), и систем кабельного телевидения (СКТ) при первичном и вторичном распределении программ TV вещания. В настоящее время практическое все цифровое SAT TV вещание на все пять континентов осуществляется по стандарту DVB-S.

Существует два основных способа цифровой передачи SAT сигналов:

- передача N сжатых цифровых сигналов на N несущих;
- мультиплексирование N сжатых цифровых сигналов и их передача на одной несущей.

Число программ TV вещания, которое можно передавать с помощью одного спутникового транспондера, зависит от требуемой скорости передачи информации, компонентного или композитного формата кодирования для источника сигнала, качества и разрешающей способности исходного изображения, критичности алгоритма сжатия к некоторым видам изображений и требуемого качества восстановленного изображения.

Достижения в области сжатия данных позволяет организовать большое количество цифровых высококачественных ТВ каналов с относительно низкими скоростями (менее 1 Мбит/с, что эквивалентно 20-25 TV каналов в стандартной полосе SAT канала величиной 27 МГц). Во многих случаях допустима и скорость в 400 кбит/с, что эквивалентно не менее 60 TV каналов с одного транспондера.

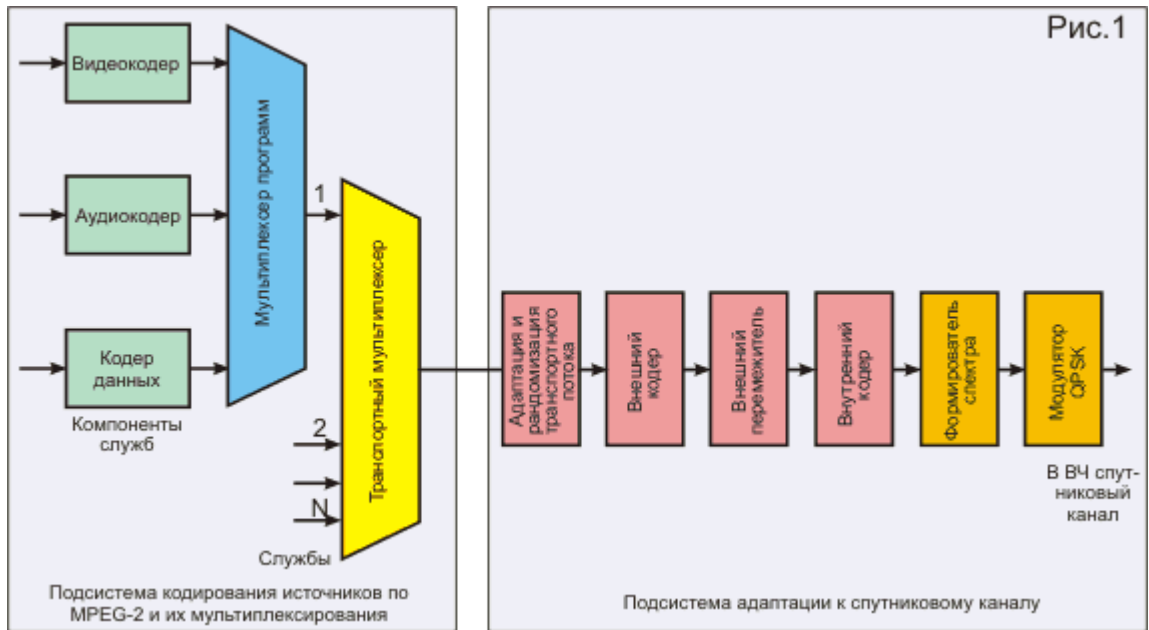


Рисунок 1 - Структурная схема передающей части стандарта DVB-S

Структурная схема передающей части стандарта DVB-S показана на рисунке 1. На передающей стороне выполняются следующие преобразования потока данных для его адаптации к каналу:

- транспортное мультиплексирование и рандомизация для дисперсии энергии;
- внешнее кодирование с помощью кода Рида-Соломона (RS);
- сверточное перемежение и внутреннее кодирование с использованием выколотого сверточного кода;
- формирование сигнала в основной полосе частот и его модуляция.

Для SAT систем TV вещания характерны ограниченная мощность передаваемого сигнала и, следовательно, повышенная чувствительность к воздействию шумов и интерференционных помех. Совместное использование энергетически эффективной квадратурной фазовой модуляции QPSK и каскадного кодирования для канала на базе укороченного кода RS и сверточного кода в сочетании с алгоритмом декодирования Витерби с мягким решением обеспечивает высокую помехоустойчивость системы в условиях воздействия шумовых и интерференционных помех, а также нелинейности бортового ретранслятора (т.е. возможности работы при повышенной мощности). Благодаря согласованной фильтрации и прямому исправлению ошибок, высокое качество приема достигается даже в экстремальных условиях, когда уровень минимального сигнала близок к значениям, соответствующим пороговым значениям отношений несущая/шум (C/N) и несущая/интерференционная помеха (C/I). При этом гарантируется не более одной ошибки в час, что эквивалентно вероятности ошибок около $10^{-10} \dots 10^{-11}$ на входе демультимплексера MPEG-2 в приемнике-декодере.

Для согласования передаваемого сигнала с полосой и энергетическими характеристиками конкретного транспондера устанавливается требуемое соотношение BW/R_s , где BW – полоса транспондера по уровню – 3 dB, R_s – скорость передаваемых символов.

Для данной скорости символов R_s может быть выбрано одно из 5 значений кодовой скорости внутреннего сверточного кода, что соответственно изменяет полученную скорость символов R_U и спектральную эффективность системы $C_U=R_U/BW$. Возможные варианты соотношения скорости передачи R , R_s , R_U и эффективности C_U от полосы транспондера при $BW/R_s = 1,28$ для QPSK модуляции приведены в таблица 2.1.

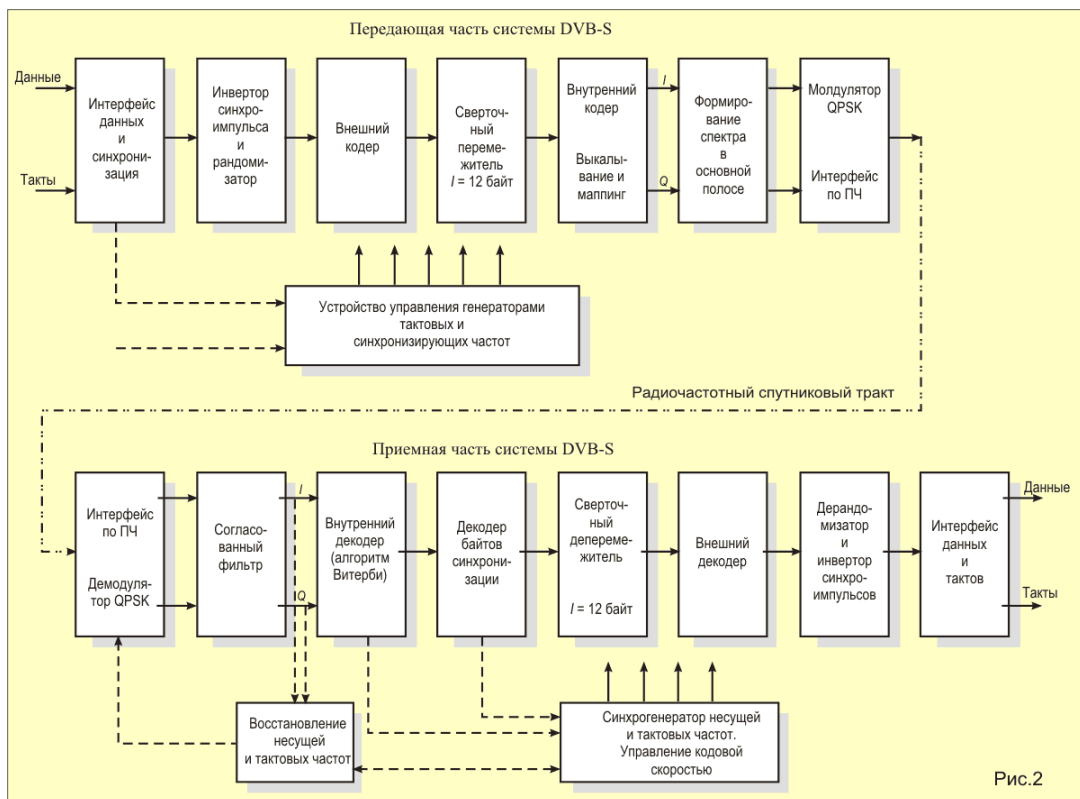


Рисунок 2 - Структурная схема блоков адаптации к каналу стандарта DVB-S

Таблица 1 - Полосы транспондера при $BW/R_s = 1,28$ для QPSK модуляции

В W, МГц	Rs, Мси м/с	R = 1/2		R = 2/3		R = 3/4		R = 5/6		R = 7/8	
		R _U , Мби т/с	C _U , бит/(с Гц)	R _U , Мби т/с	C _U , бит/(с Гц)	R _U , Мби т/с	C _U , бит/(с Гц)	R _U , Мби т/с	C _U , бит/(с Гц)	R _U , Мби т/с	C _U , бит/(с Гц)
54	42,2	38,9	0,72	51,8	0,96	58,3	1,08	64,8	1,2	68	1,26
46	35,9	33,1	0,72	44,2	0,96	49,7	1,08	55,2	1,2	58	1,26
40	31,2	28,8	0,72	38,4	0,96	43,2	1,08	48	1,2	50,4	1,26
36	28,1	25,9	0,72	34,6	0,96	38,9	1,08	43,2	1,2	45,4	1,26
33	25,8	23,8	0,72	31,7	0,96	35,6	1,08	39,6	1,2	41,6	1,26
30	23,4	21,6	0,72	28,8	0,96	32,4	1,08	36	1,2	37,8	1,26
27	21,1	19,4	0,72	25,9	0,96	29,2	1,08	32,4	1,2	34	1,26
26	20,3	18,7	0,72	25	0,96	28,1	1,08	31,2	1,2	32,8	1,26

Структурная схема блоков адаптации к каналу стандарта DVB-S на передающей и приемной сторонах показаны на рисунке 2. Как уже отмечалось выше, основным видом модуляции в стандарте DVB-S принята QPSK (в отечественной литературе иногда именуется как ФМ-4), хотя в отдельных случаях могут использоваться 8 PSK (ФМ-8) и даже 16 QAM (КАМ-16). Применение помехоустойчивого кодирования позволяет значительно снизить требуемое для работы демодулятора с QPSK отношение E_b/N_0 (отношение энергии в одном байте информации к мощности шума, см. рисунок 3), а для модуляции большей кратности пороговое значение E_b/N_0 оказывается несколько выше (таблица 2).

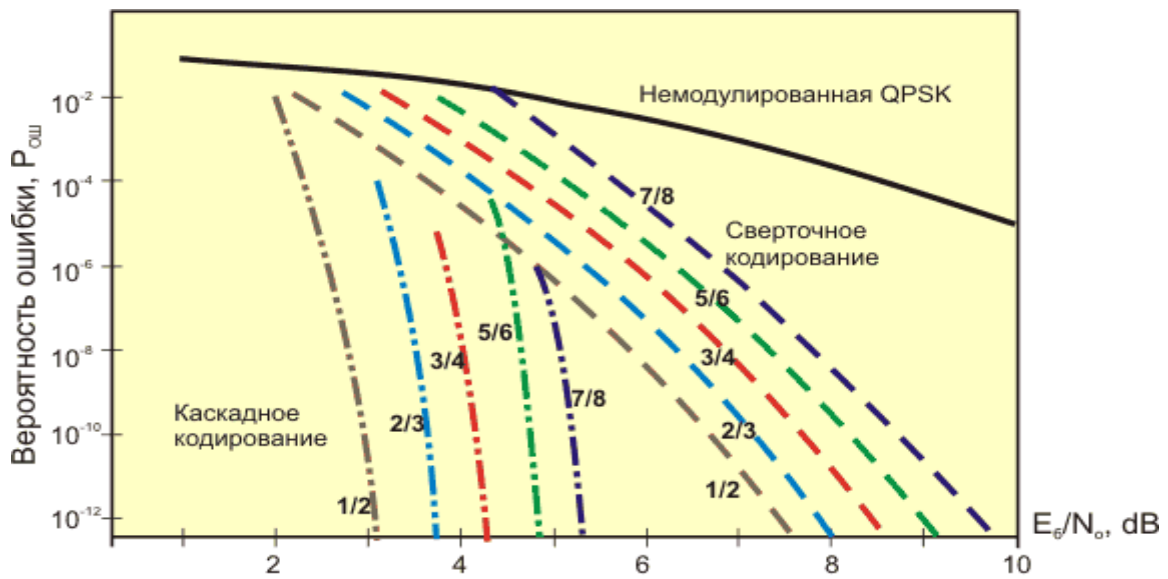


Рисунок 3 - Отношение энергии в одном байте информации к мощности шума

Таблица 2 - Спектральная эффективность

Модуляция	Скорость внутреннего кода	Спектральная эффективность, бит/Гц	Запас на реализацию модема, dB	E_b/N_0 (2×10^{-4})
QPSK	1/2	0,92	0,8	4,5
	2/3	1,23	0,8	5
	3/4	1,38	0,8	5,5
	5/6	1,53	0,8	6
	7/8	1,61	0,8	6,4
8PSK	2/3	1,84	1	6,9
	5/6	2,3	1,4	8,9
	8/9	2,46	1,5	9,4
16QAM	3/4	2,76	1,5	9
	7/8	3,22	2,1	10,7

1.2 Причины появления DVB-S2

Необходимость в пересмотре имеющихся стандартов была обусловлена несколькими причинами. Важнейшим фактором стали планы массового запуска ТВЧ. Сегодня, когда подавляющее большинство европейских программ передается в стандартном разрешении, дефицита частотного ресурса, выделенного в Европе для ТВ вещания через спутник, в целом не наблюдается. Но, как показывают расчеты, если все спутниковые программы будут переведены в ТВЧ, то этого ресурса окажется недостаточно, даже при переходе к более совершенным систем компрессии ТВ сигнала. Таким образом, перспектива появления ТВЧ потребовала разработки форматов канального кодирования, более эффективно использующих спектр.

Вторая причина необходимости нового стандарта – неудовлетворительная работа имеющихся приемных систем с сигналами Ka-диапазона. Качество приема в этом диапазоне очень сильно зависит от погодных условий, в первую очередь, от дождя. Поэтому для трансляций в этом диапазоне часто требуется более высокая помехозащищенность, чем в C- и Ku-диапазонах.

Третья причина – появление интерактивных спутниковых сетей с адресными услугами, чему, в частности, способствовало развитие технологии точечных лучей. Такие сети требуют большого транспортного ресурса, и оптимизировать его использование можно, адаптировав параметры каждого адресного потока к условиям приема конкретного адресата. Старые стандарты таких возможностей не предоставляют.

Таким образом, от нового стандарта требовалось следующее:

- Во-первых, он должен был повысить эффективность использования транспортного канала. То есть дать возможность в полосе стандартного канала передавать больше бит полезной информации.

- Во-вторых, он должен был предоставить расширенные возможности обмена скорости передачи полезной информации на помехоустойчивость.
- В-третьих, стандарт должен был допускать дифференцированный подход к выбору транспортных параметров для разных услуг, передаваемых в одном канале.

Кроме того, он должен был обеспечить совместимость с прежними стандартами и пути плавной миграции от старого оборудования к новому.

Первые два требования удалось выполнить за счет введения в стандарт более разнообразных схем модуляции, использования более эффективных систем защитного кодирования и введения дополнительных коэффициентов скругления, обеспечивающих более крутые фронты модулированного сигнала.

Гибкость формирования канала была достигнута теми же методами, что и эффективность использование спектра методами, а также за счет введения режимов VCM (Variable Coding and Modulation) и ACM (Adaptive Coding and Modulation). Первый режим допускает разный уровень помехозащищенности услуг, передаваемых в одном канале, а второй – дополнительную возможность адаптации транспортных параметров к текущим условиям приема услуги. Режим ACM предназначен для сетей с обратным каналом, где приемные системы имеют возможность переправлять на головную станцию информацию об условиях приема.

В результате был создан универсальный стандарт, на базе которого могут строиться сети для распространения ТВ программ стандартной или высокой четкости, сети для предоставления интерактивных услуг, например, доступа в Интернет, сети для профессиональных приложений, таких как передача цифрового ТВ от студии к студии, сбор новостей и раздача сигнала на эфирные ретрансляторы. Новый стандарт также удобен для формирования сетей передачи данных и создания IP-магистралей.

Как и большинство многофункциональных стандартов, он представляет собой набор инструментов, которые можно использовать в разных сочетаниях. Такой принцип построения делает стандарт максимально гибким и не сильно перегружает процессоры приемников. При нынешнем развитии силиконовых технологий все функции приемника можно реализовать на одном чипе.

Большинство эффективных механизмов, заложенных в DVB-S2, оказались несовместимыми со старыми стандартами. Потому, для выполнения требования совместимости вниз, разработчики ввели в стандарт два режима. Один – совместимый вниз, но менее эффективный, а другой, использующий все новые возможности, но не позволяющий использовать приемники стандарта DVB-S.

Первый рекомендуется для предоставления традиционных услуг, на период миграции к новому стандарту, а второй – для применения в профессиональных сетях и для передачи новых услуг, которые невозможно принять старыми приемниками.

1.3 Схемы модуляции и способы помехозащитного кодирования

Новый стандарт предусматривает четыре возможных схемы модуляции

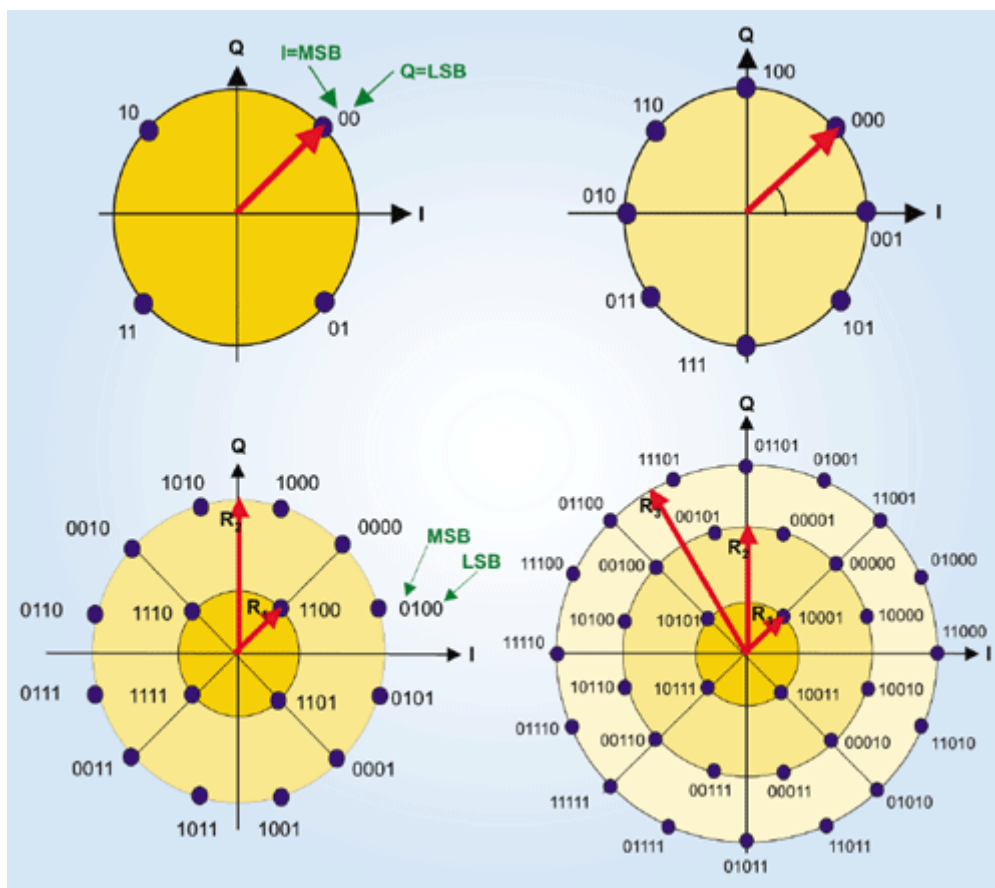


Рисунок 4 - Четыре схемы модуляции, применяемых в стандарте DVB-S2: QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK

Первые две, QPSK и 8PSK, предназначены для использования в вещательных сетях. Передатчики транспондеров работают там в режиме, близком к насыщению, что не позволяет модулировать несущую по амплитуде. Более скоростные схемы модуляции, 16 APSK и 32 APSK, ориентированы на профессиональные сети, где часто используются более слабые наземные передатчики, не вводящие бортовые ретрансляторы в нелинейный режим работы, а на приемной стороне устанавливаются профессиональные конвертеры (LNB), позволяющие с высокой точностью оценить фазу принимаемого сигнала. Эти схемы модуляции можно использовать и в системах вещания, но этом случае каналобразующее оборудование должно поддерживать сложные варианты предискажений, а на приемной стороне должен быть обеспечен более высокий уровень отношения сигнал/шум. Символы внутри констелляционного поля APSK модулированного сигнала размещены по окружностям. Такой вариант является наиболее помехоустойчивым в плане передачи амплитуды символа и позволяет использовать ретрансляторы в режимах, близких к точке насыщения.

Обратим внимание на то, что, по сравнению с QPSK, верхняя схема модуляции, 32 APSK, позволяет повысить общую скорость потока в 2.5 раза.

Одновременно с введением более высоких уровней модуляции стандарт предусматривает возможность применения двух дополнительных коэффициентов скругления α . К используемому в DVB-S $\alpha=0.35$ в новом стандарте

добавлены коэффициенты $\alpha = 0.20$ и $\alpha = 0.25$. Новые, более низкие значения коэффициентов обеспечивают большую крутизну импульсов, что позволяет использовать спектр более эффективно. С другой стороны, снижение α способствует повышению нелинейных искажений, что особенно сказывается при передаче одной несущей на транспондер. Поэтому конкретное значение коэффициента выбирается с учетом всех параметров передачи.

Для защиты от помех в новом стандарте, как и в прежних, используется перемежение данных и наложение двухуровневого кода для прямой коррекции ошибок (Forward Error Correction FEC). Но системы внешней и внутренней кодозащиты – другие, чем в стандарте DVB-S. В качестве внешней кодозащиты вместо кода Рида-Соломона используется код Боуза-Чоудхури-Хоквингема (Bose-Bhauhdhuri-Nocquenghem, BCH), а в качестве внутренней, вместо сверточного кода, – код с низкой плотностью проверок на четность Low Density Parity Check Codes – LDPC).

LDPC – один из вариантов "турбо" кодов, изобретенный еще в 1960 году и получивший свое второе рождение в середине 1990-х. Он был выбран путем компьютерного моделирования из семи опробованных вариантов турбо кодов. Критерием выбора была достижимая с помощью кода эффективность передачи в канале, и коду LDPC удалось максимально приблизить ее к пределу Шеннона при соблюдении установленных ограничений на сложность чипа декодера.

Код LDPC накладывается на блоки длиной 64800 бит, которые для приложений, чувствительных к задержкам, могут быть сокращены в 4 раза. Относительная скорость передачи может составлять от 1/4, до 9/10. Первый вариант предусматривает передачу трех защитных бит на каждый полезный, а последний, одиннадцатый – один контрольный бит на девять полезных.

Для дополнительного снижения частоты ошибки используется внешний уровень кодозащиты BCH, работающий при малой плотности ошибок. В большинстве режимов код позволяет исправлять до 12 ошибок, но в некоторых – до 8 или до 10 ошибок.

BCH, так же, как и код Рида-Соломона, представляет собой алгебраический код, описываемый определенными полиномами. Но, в отличие от кода Рида-Соломона, BCH исправляет одиночные, а не пакетные ошибки и может накладываться на более длинные последовательности.

Новая пара кодов обеспечивают более эффективное использование канального ресурса, чем коды DVB-S. Как отмечают разработчики стандарта, она позволяет работать при уровнях E_b/N_0 (цифровой эквивалент C/N) всего на 0.7 дБ выше требуемого соотношением Шеннона для заданной скорости, в то время как применение свертки в паре с кодом Рида-Соломона требовало превышения этого предела примерно на 5 дБ. Правда, при этом не выполняются условия бесконечно высокой достоверности передаваемой информации, оговоренные в теореме Шеннона. Более того, новый стандарт допускает более высокую частоту ошибок (BER) на выходе декодера, чем старый. Если кодеры стандарта DVB-S обеспечивают снижение BER до $10E-10$ – $10E-11$, то LDPC в сочетании с BCH снижают его до уровня $10E-7$. Такой уровень соответствует появлению

одной ошибки в час при передаче потока скоростью 5 Мбит/с (стандартная скорость передачи ТВ компрессированного в MPEG-2). С другой стороны, такой уровень ошибки является допустимым для подавляющего большинства приложений, а большая достоверность при необходимости может быть обеспечена самим приложением. По существу, в стандарт DVB-S заложен избыточный уровень достоверности. Это связано с особенностями работы кода Рида-Соломона, который либо восстанавливает принимаемую последовательность с высокой точностью, либо не восстанавливает ее вовсе.

В случае передачи пакетной информации, перед ее подачей в FEC-коде-ры, на нее накладывается CRC-8 (Cyclic Redundancy Check) кодирование. А после FEC кодирования данные подвергаются перемежению, защищающему ее от длительных помех.

2 Практическая часть

Для решения поставленной задачи необходимо использовать модель канала DVB-S2 в программной среде Matlab Simulink.

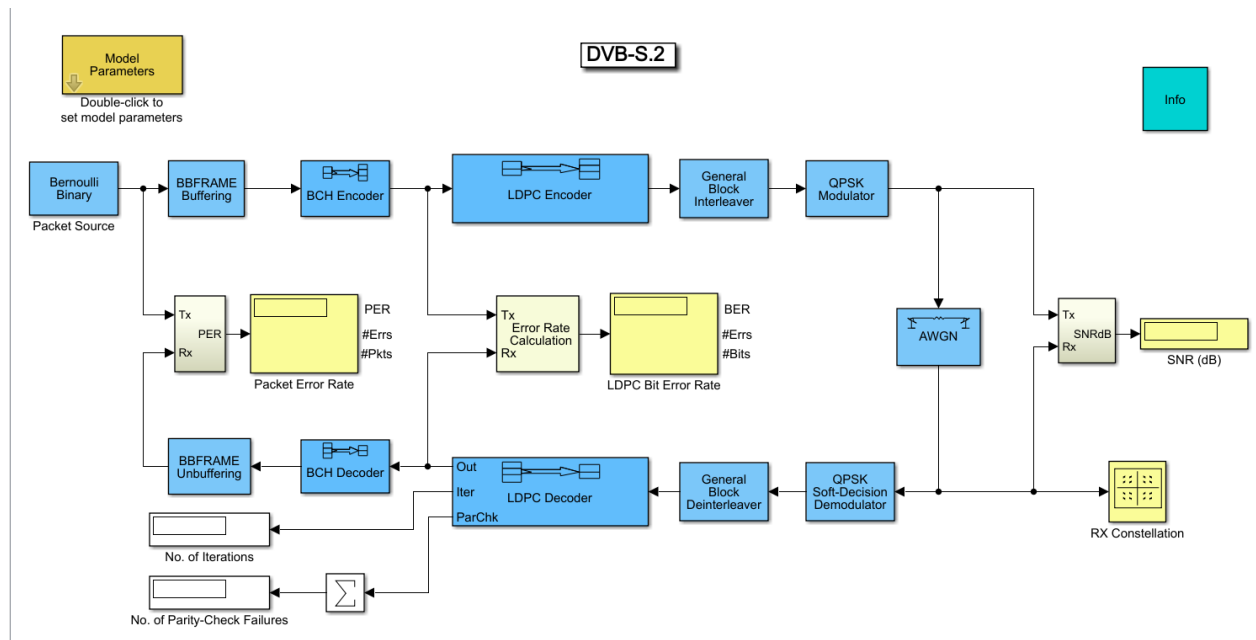


Рисунок 5 – Структурная схема канала DVB-S2

Схема включает в себя следующие функциональные блоки:

- 1) Bernoulli Binary Generator – Генератор псевдослучайной последовательности, имитирующей входной сигнал.
- 2)

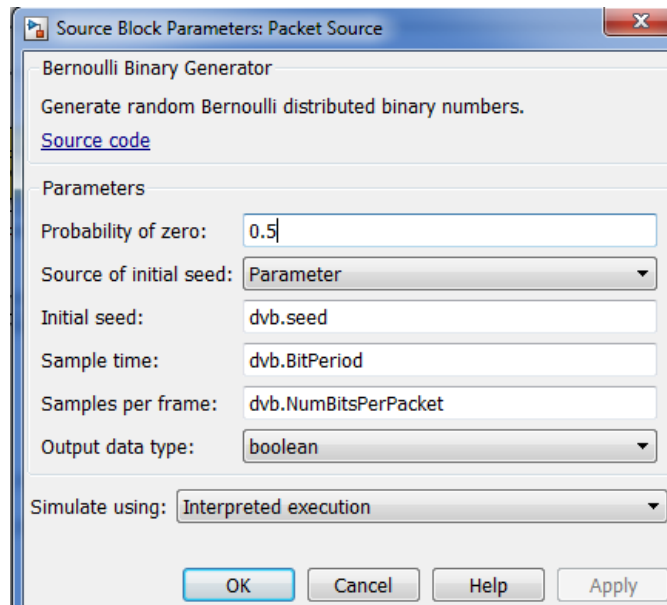


Рисунок 6 - Окно блока Bernoulli Binary Generator

- 3) Кодер (декодер) BCH – осуществляет помехоустойчивое кодирование

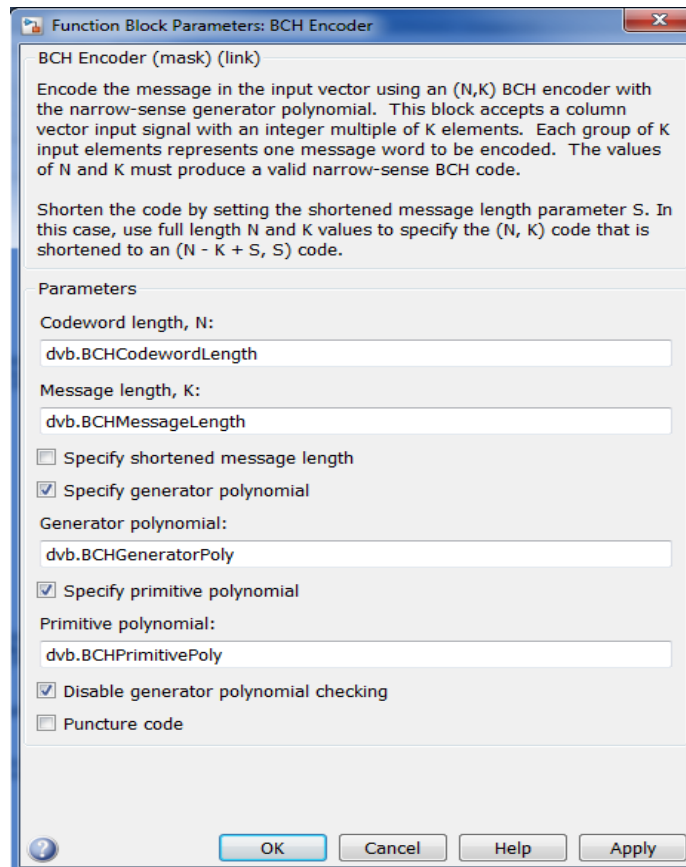


Рисунок 7 – Окно блока BCH coder/decoder

- 4) LDPC coder (decoder) – кодирование, простая проверка на четность.

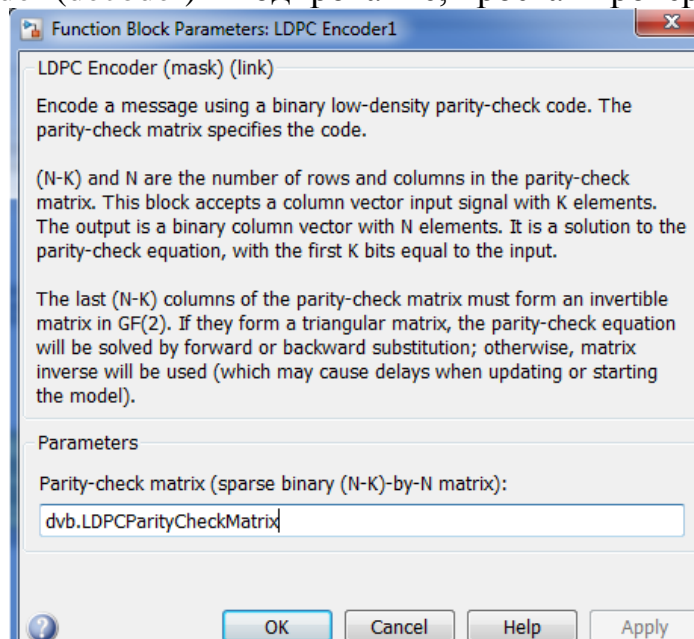


Рисунок 8 – Окно блока LDPC coder

5) QPSK – модулятор (демодулятор) кодовой последовательности.

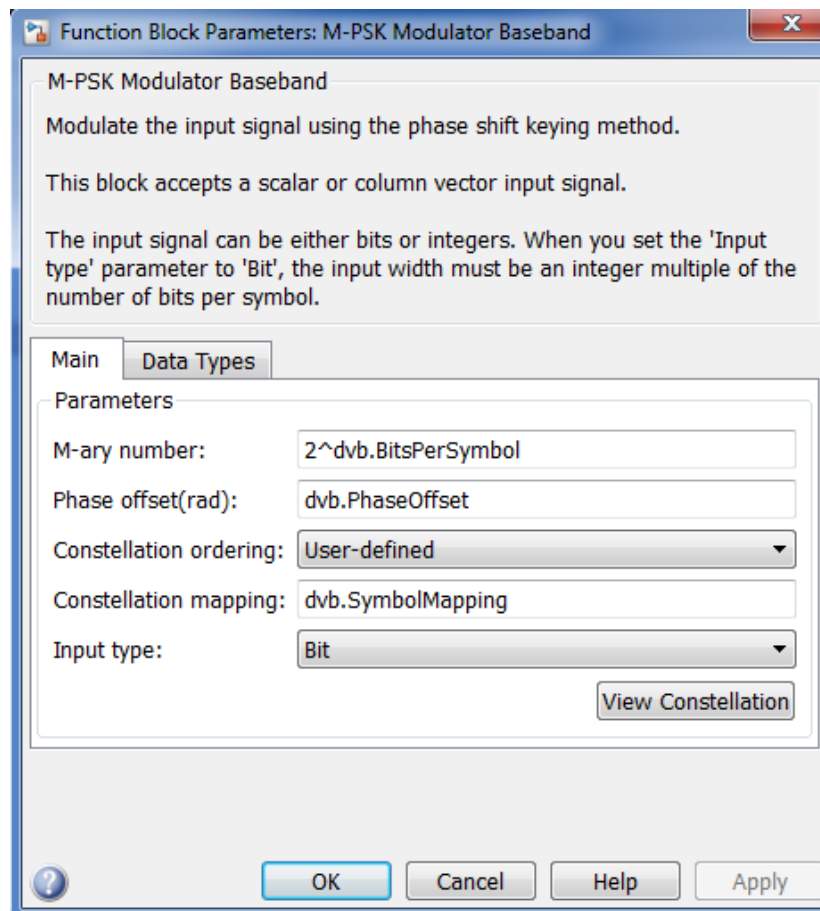


Рисунок 9 – Окно блока QPSK

6) AWGN – Линия передачи

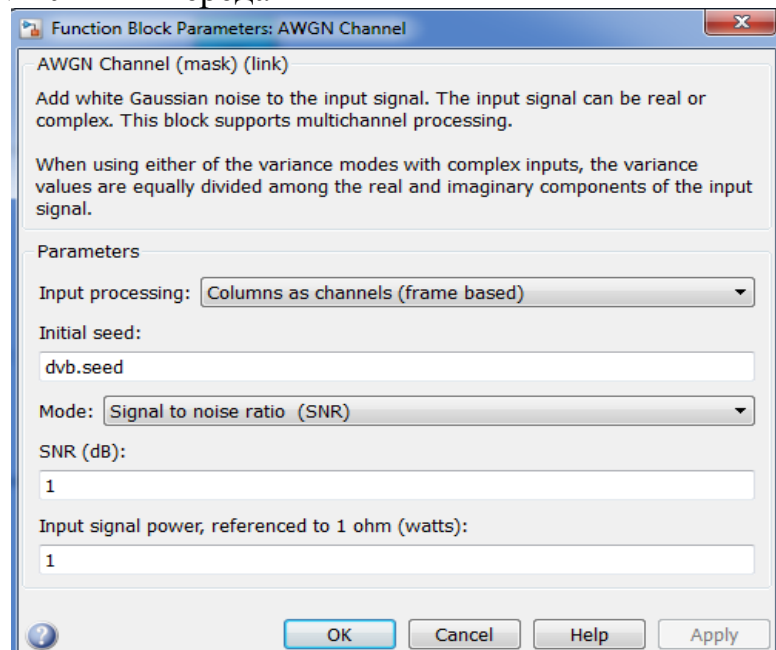


Рисунок 10 – Окно блока AWG

7) Error Rate Calculation – Разностное устройство для оценки количества и частоты ошибок между передающимся и принимаемым сигналом.

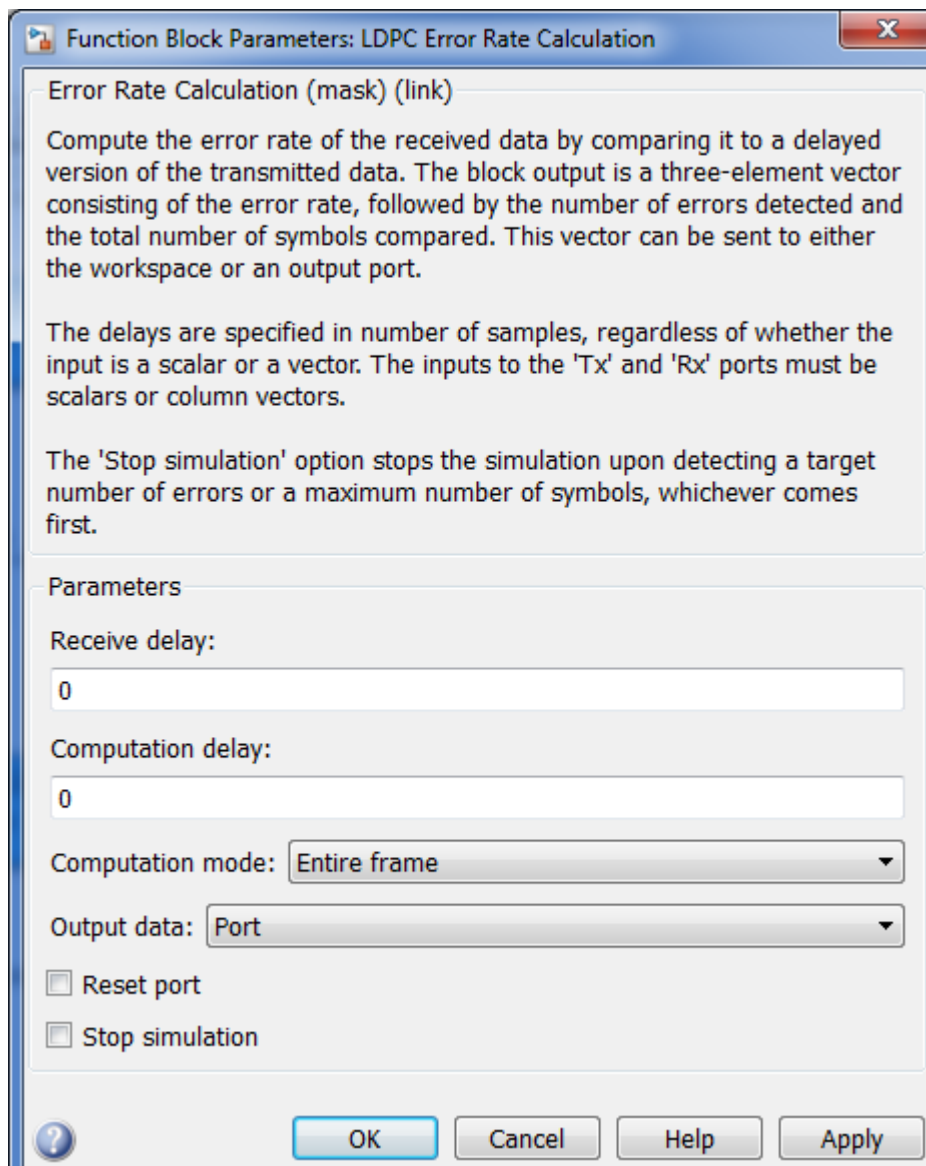


Рисунок 11 – Окно блока подсчета ошибок

В ходе исследования модели возникли трудности с реализацией модуляции 16APSK и 32APSK.

Поэтому для решения задачи принято решение представить модель канала в виде программного кода (Приложение А).

2.1 Результаты работы

Моделирование канала связи позволяет оценить параметры канала.

Созвездия, полученные при моделировании представлены на следующих рисунках:

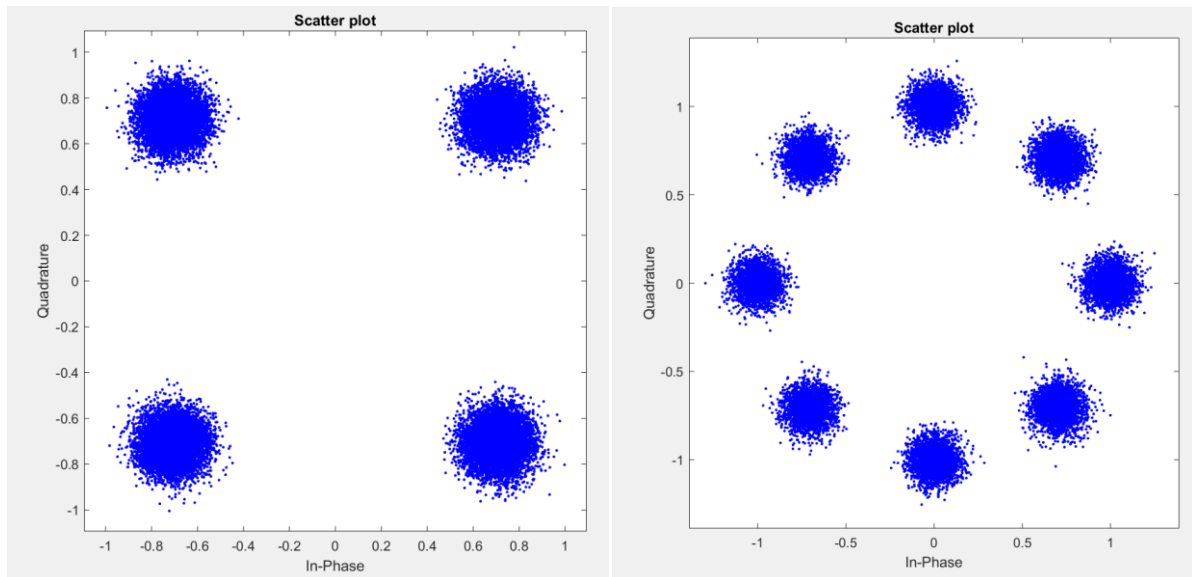


Рисунок 12 – QPSK и 8PSK созвездия при SNR =20 дБ

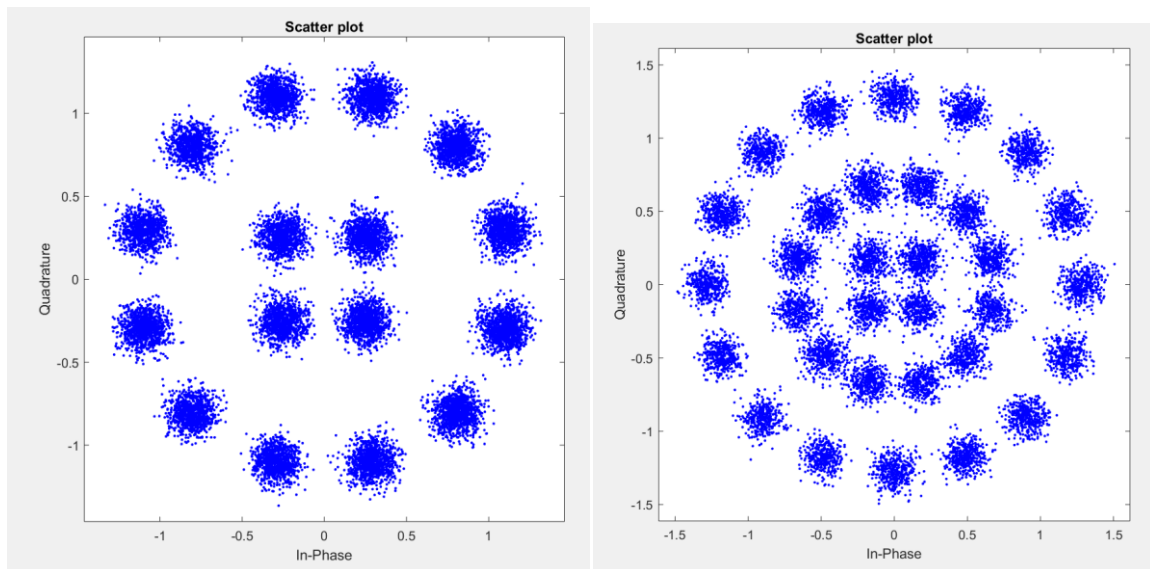


Рисунок 13 – 16APSK и 32APSK созвездия при SNR =20 дБ

Получены зависимости BER от SNR для различных скоростей кодирования LDPC.

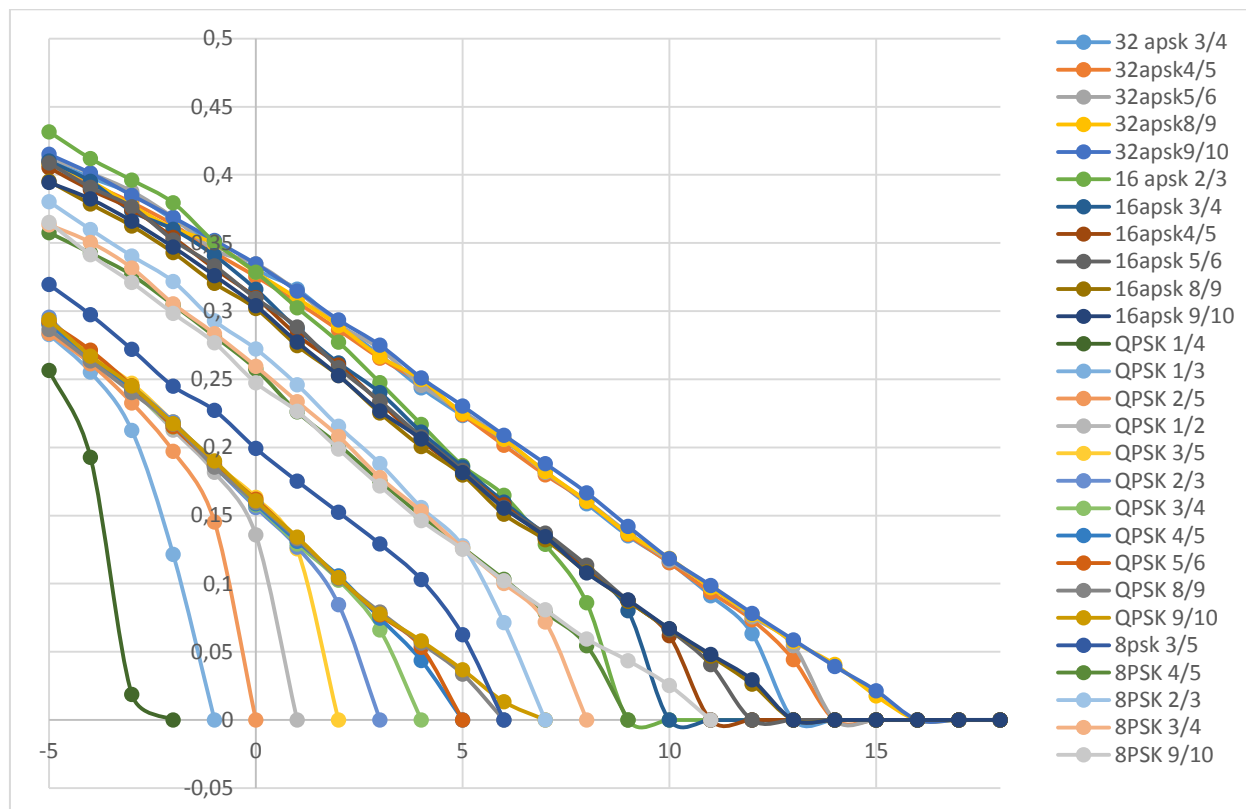


Рисунок 14 – Зависимость BER от SNR после декодирования LDPC

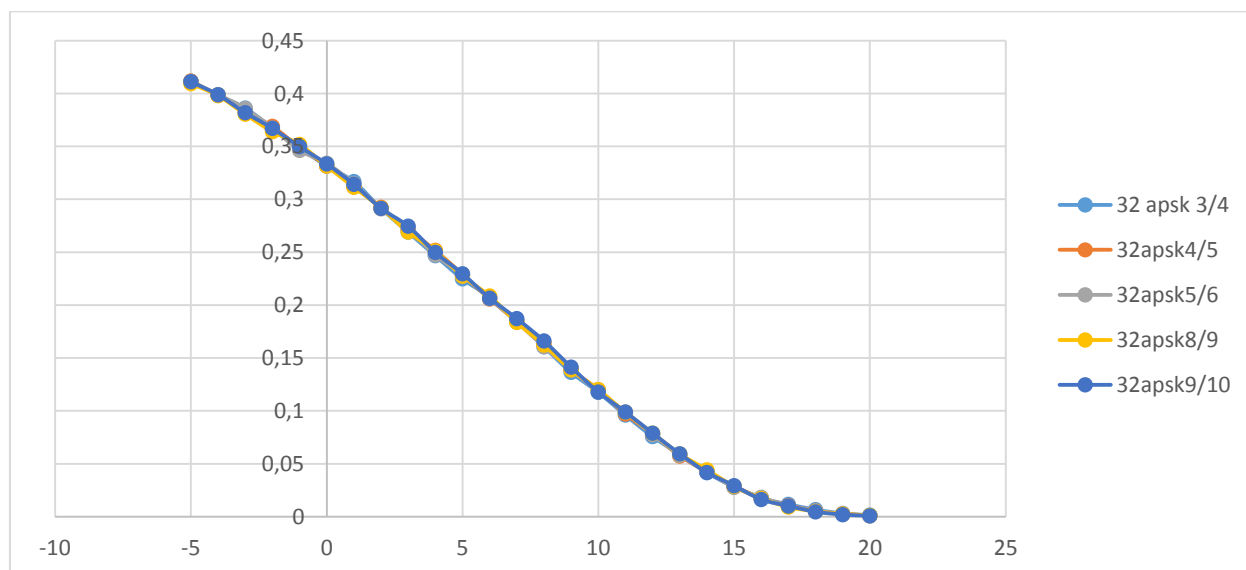


Рисунок 15 – Зависимость BER после демодулирования от SNR для одного вида модуляции с разными скоростями кодирования.

На рисунке 9 видно, что все графики наложены друг на друга, отсюда следует, что BER после демодулирования не зависит от скорости кодирования.

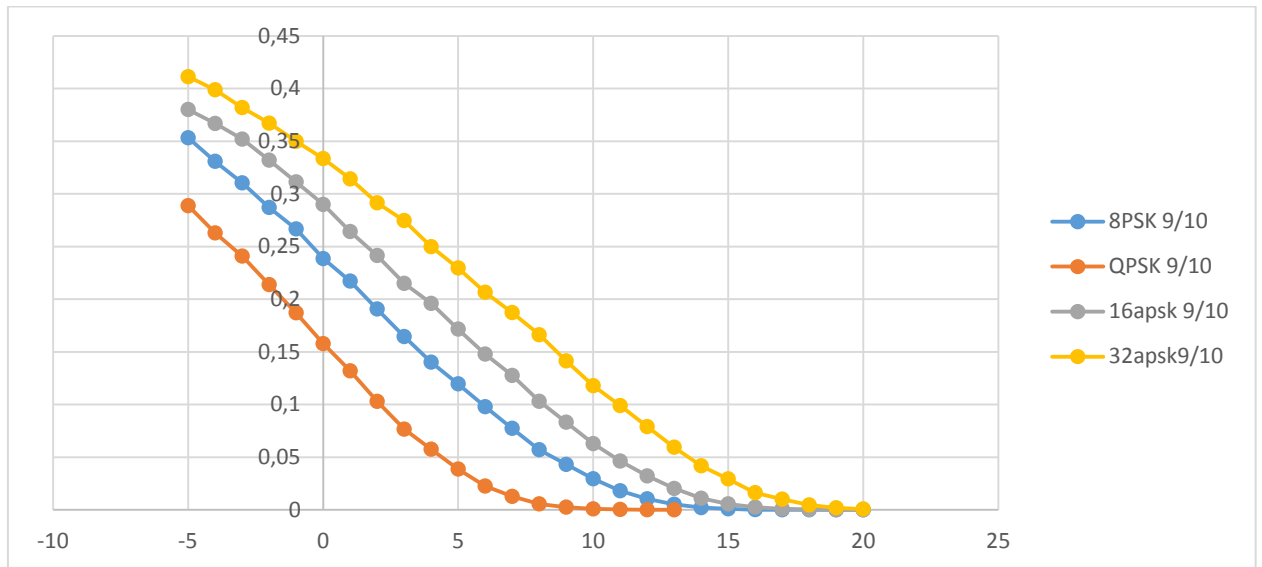


Рисунок 16 – Зависимость BER после демодулирования от SNR для различных видов модуляции с одинаковой скоростью кодирования.

Из рисунка 10 видно, что для QPSK обладает наилучшей помехозащищенностью.

Заключение

В ходе выполнения индивидуального задания был исследован стандарт DVB-S2, исследованы методы кодирования, которые используются в стандарте, а также методы модулирования.

Результатом работы является программный код, который позволяет исследовать стандарт DVB-S2.

В программном коде реализованы следующие компоненты канала связи стандарта DVB-S2:

- Кодирование БЧХ;
- Кодирование LDPC;
- Модуляция QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK;
- Прохождение через канал с добавлением шумов;
- Демодуляция QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK;
- Декодирование LDPC;
- Декодирование БЧХ;
- Подсчет ошибок и вычисление BER;
- Вывод BER в файл *.xls.

Приложение А Программный код

```

clc
clear all
close all

subsystemType = '8PSK 9/10'; % Вид модуляции и скорость LDPC кода
filename = 'testdata.xlsx';
A = {'SNR';'BER';'BER mod';'ber_ldpc'; 'PER'};
sheet = 1;
xlRange = 'A1';
xlswrite(filename,A,sheet,xlRange);
d1 = -5; d2 = 2=
for snrcnt = d1:d2
    EsNodB      = snrcnt;          %Отношение энергии бита к спек-
тральной мощности шума в дБ
    numFrames   = 1;              % Количество кадров для моделирования

    configureDVBS2Demo
    dvb
    enclDPC = comm.LDPCEncoder(dvb.LDPCParityCheckMatrix);
    declDPC = comm.LDPCDecoder(dvb.LDPCParityCheckMatrix, ...
        'IterationTerminationCondition', 'Parity check satisfied', ...
        'MaximumIterationCount',      dvb.LDPCNumIterations, ...
        'NumIterationsOutputPort',    true);
    bbFrameTx = false(encbch.MessageLength,1);
    numIterVec = zeros(numFrames, 1);
    falseVec   = false(dvb.NumPacketsPerBBFrame, 1);
    for frameCnt=1:numFrames

        % Transmitter, channel, and receiver
        bbFrameTx(1:dvb.NumInfoBitsPerCodeword) = ...
            logical(randi([0 1], dvb.NumInfoBitsPerCodeword, 1));
        bchEncOut = encbch(bbFrameTx);
        ldpcEncOut = enclDPC(bchEncOut);
        intrlvrOut = intrlvr(ldpcEncOut);
        if dvb.ModulationOrder == 4 || dvb.ModulationOrder == 8
            modOut = pskModulator(intrlvrOut);
        else
            modOut = dvbsapskmod(intrlvrOut, dvb.ModulationOrder, 's2', ...
                dvb.CodeRate, 'InputType', 'bit', 'UnitAveragePower', true);
        end
        chanOut = chan(modOut);
        if dvb.ModulationOrder == 4 || dvb.ModulationOrder == 8

```

```

    demodOut = pskDemodulator(chanOut);
else
    demodOut = dvbsapskdemod(chanOut, dvb.ModulationOrder, 's2', ...
        dvb.CodeRate, 'OutputType', 'approxIIR', 'NoiseVar', ...
        dvb.NoiseVar, 'UnitAveragePower', true);
end
deintrlvrOut = deintrlvr(demodOut);
[lldpcDecOut, numIter] = declldpc(deintrlvrOut);
%err_ldpcDecOut(frameCnt) = sum(abs(lldpcDecOut-bchEncOut));
bchDecOut = decbch(lldpcDecOut);
%err_bchDecOut(frameCnt) = sum(abs(bchDecOut-bbFrameTx));
bbFrameRx = bchDecOut(1:dvb.NumInfoBitsPerCodeword,1);

% Error statistics
comparedBits = xor(bbFrameRx,
bbFrameTx(1:dvb.NumInfoBitsPerCodeword));
    packetErr = any(reshape(comparedBits, dvb.NumBitsPerPacket, ...
        dvb.NumPacketsPerBBFrame));
per = PER(falseVec, packetErr);
berMod = BERMod(demodOut<0, intrlvrOut);
berLDPC = BERLDPC(lldpcDecOut, bchEncOut);

BER_total(snrCnt+6) = sum(abs(bchDecOut-
bbFrameTx))/dvb.NumInfoBitsPerCodeword;
BER_mod(snrCnt-(d1-1)) = berMod(1);
BER_ldpc(snrCnt-(d1-1)) = berLDPC(1);
SNR(snrCnt-(d1-1)) = snrCnt;
PER_(snrCnt-(d1-1)) = per(1);
% LDPC decoder iterations
numIterVec(frameCnt) = numIter;

% Noise variance estimate
noiseVar = meanCalc(varCalc(chanOut - modOut));

% Scatter plot
%constDiag(chanOut);
end
end
scatterplot(chanOut);
xlRange = 'B1';
xlswrite(filename,SNR,sheet,xlRange);
xlRange = 'B2';
xlswrite(filename,BER_total,sheet,xlRange);
xlRange = 'B3';

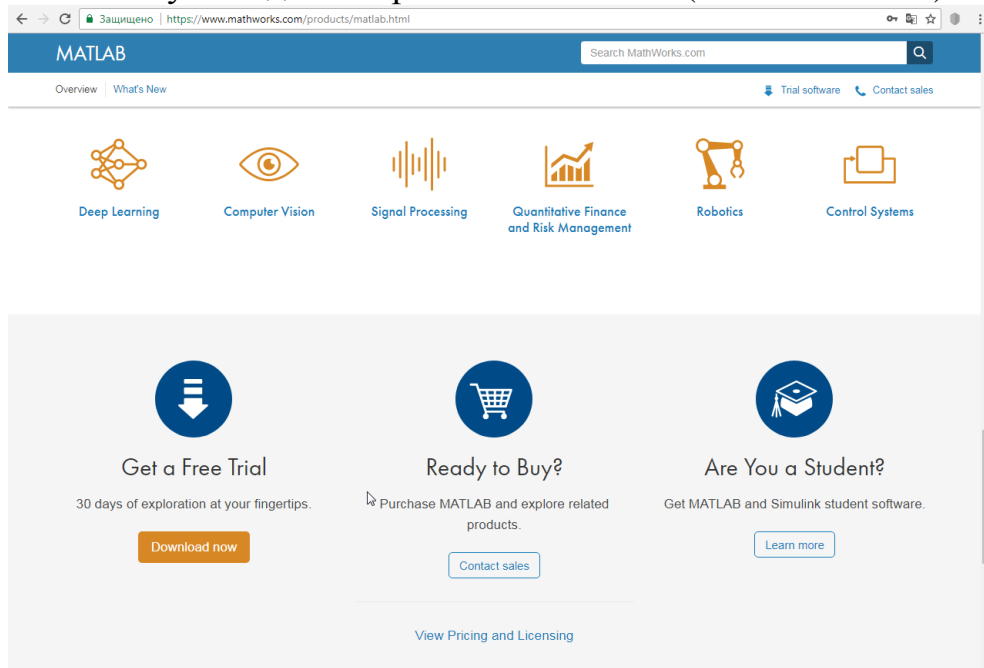
```



```
xlswrite(filename,BER_mod,sheet,xlRange);  
xlRange = 'B4';  
xlswrite(filename,BER_ldpc,sheet,xlRange);  
xlRange = 'B5';  
xlswrite(filename,PER_,sheet,xlRange);
```

Приложение Б Методика проведения исследования

1. Методика установки Matlab 2018
 - a. Зарегистрироваться на сайте <https://www.mathworks.com>;
 - b. Получить демо-версию Matlab 2018 (Get a Free Trial)



Download Trial Software

***Email**

***Is this request on behalf of a faculty member or research advisor?**

Yes

No

***By clicking 'I agree', I confirm that I will use the products only to evaluate them for possible purchase as an end user.**

I agree.

- c.
 - d. Скачать и установить Matlab 2018
2. Открыть программный код в программной среде Matlab;
 3. В строку subsystemType ввести тип модуляции из списка (рисунок

1)

'QPSK 1/4', 'QPSK 1/3', 'QPSK 2/5', 'QPSK 1/2',
'QPSK 3/5', 'QPSK 2/3', 'QPSK 3/4', 'QPSK 4/5',
'QPSK 5/6', 'QPSK 8/9', 'QPSK 9/10'

'8PSK 3/5', '8PSK 4/5', '8PSK 2/3', '8PSK 3/4',
'8PSK 5/6', '8PSK 8/9', '8PSK 9/10'

'16APSK 2/3', '16APSK 3/4', '16APSK 4/5', '16APSK 5/6',
'16APSK 8/9', '16APSK 9/10'

'32APSK 3/4', '32APSK 4/5', '32APSK 5/6', '32APSK 8/9',
'32APSK 9/10'

Рисунок Б.1.

4. В строке filename ввести имя excel файла, в который будут записываться результаты моделирования (файл будет располагаться в одной папке с исполняемым файлом);
5. Задать диапазон значений, в котором исследуется система (d1 – начальное значение, d2 – конечное значение);
6. В строке numFrames задать количество передаваемых кадров;
7. Проанализировать полученные данные в excel файле.

Приложение В Созвездия фазовой и амплитудно-фазовой манипуляции 1 Модуляция QPSK.

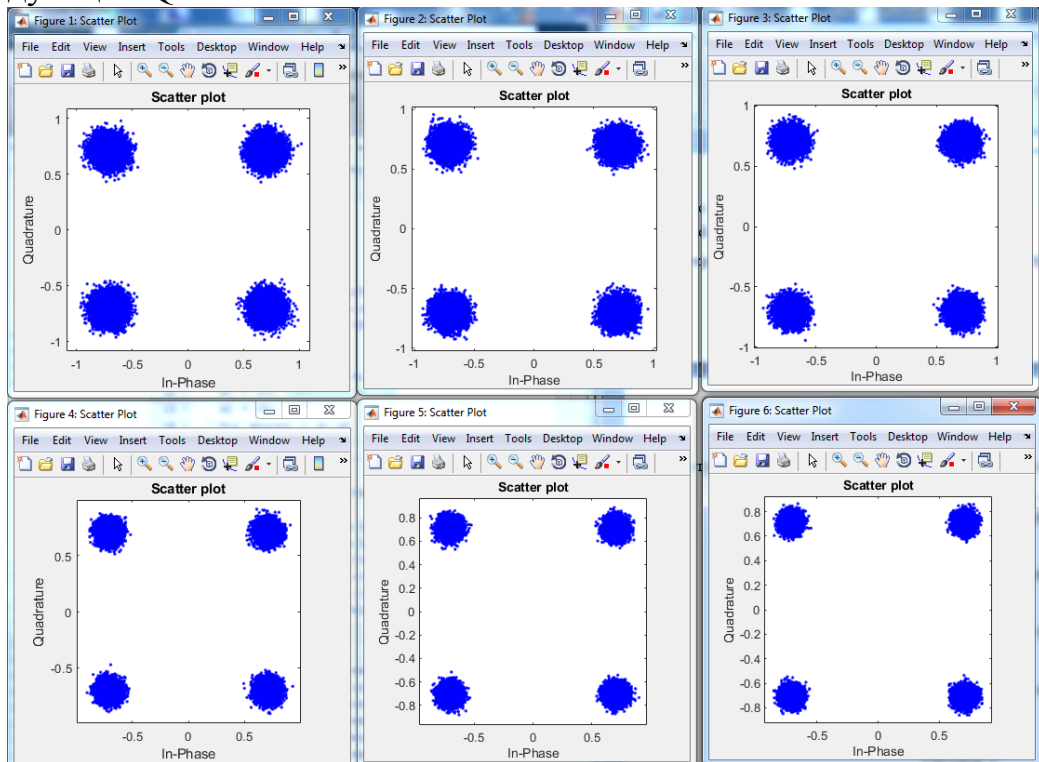


Рисунок В.1 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ;
скорости LDPC: 1/2

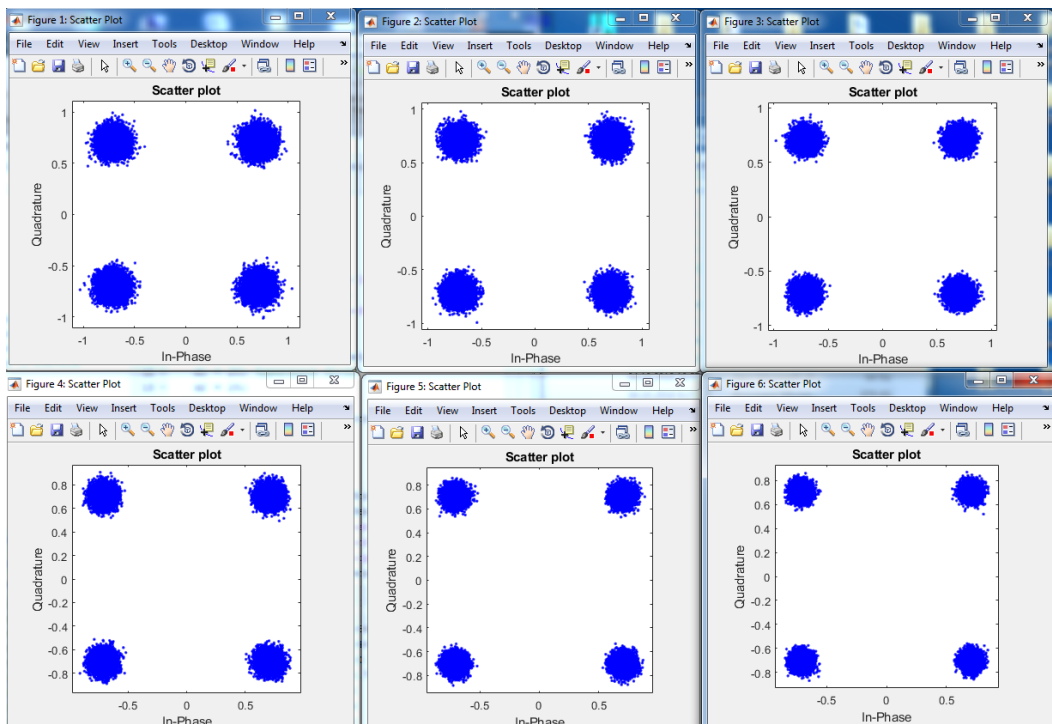


Рисунок В.2 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ;
скорости LDPC: 9/10

1 Модуляция 8PSK.

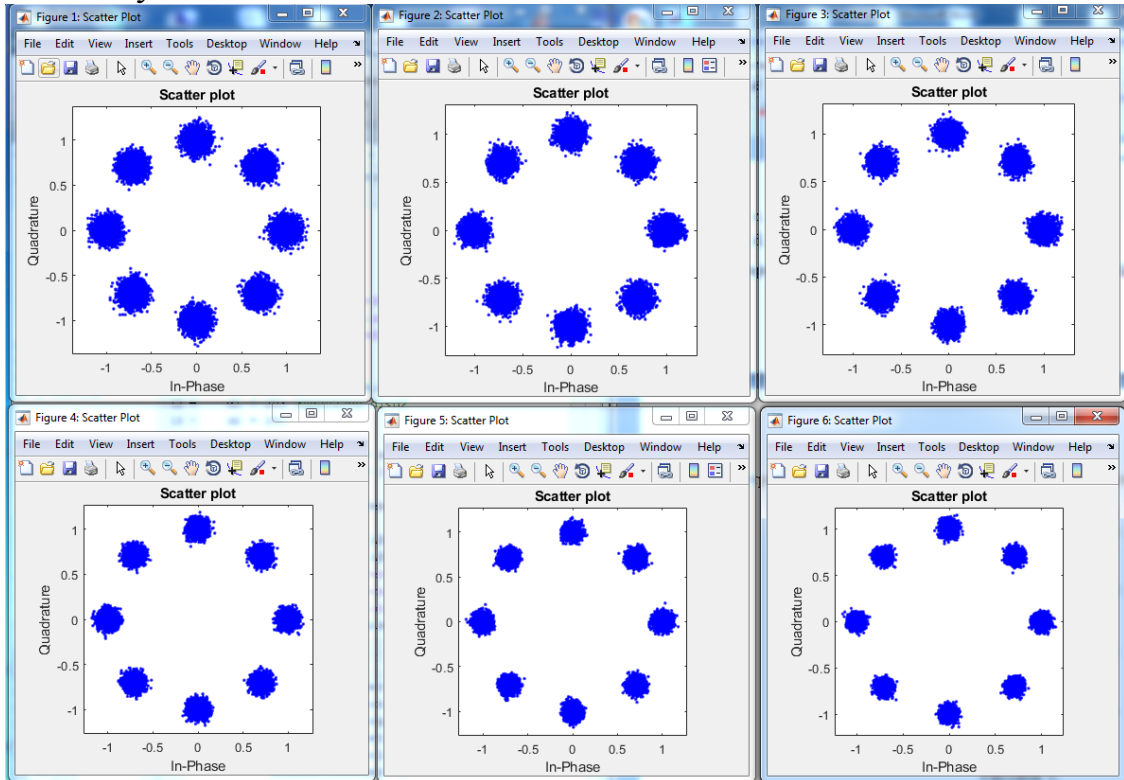


Рисунок В.3 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ;
 скорости LDPC: 2/3

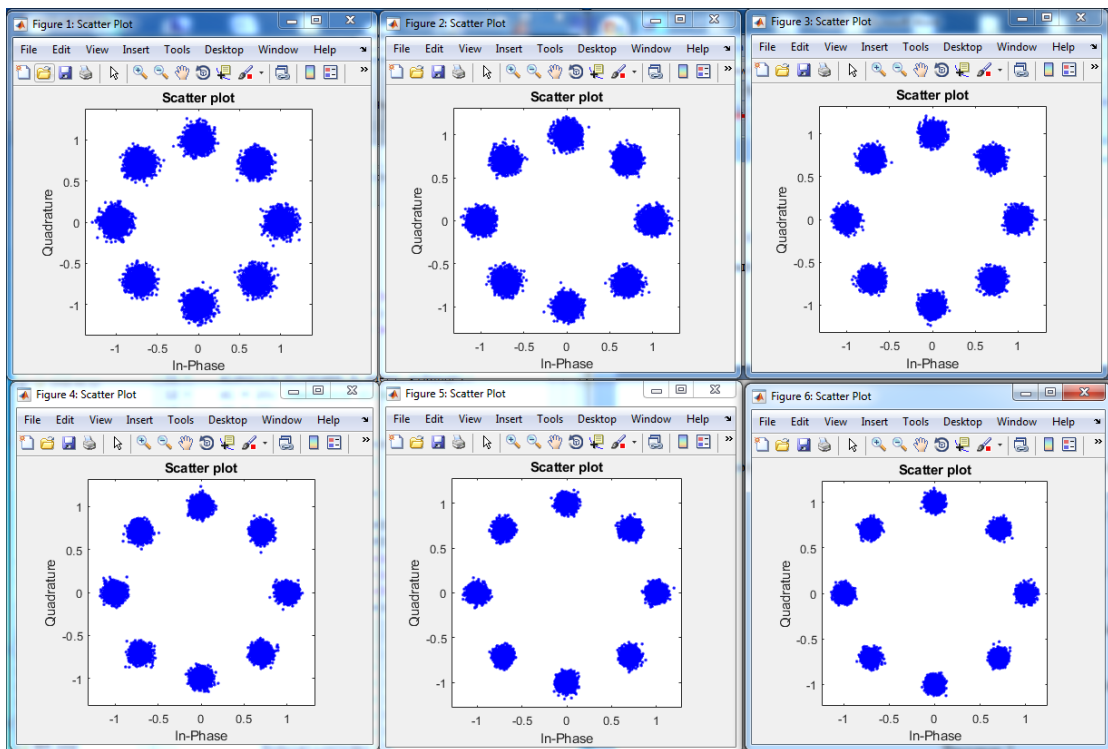


Рисунок В.4 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ;
 скорости LDPC: 8/10

2 Модуляция 16APSK.

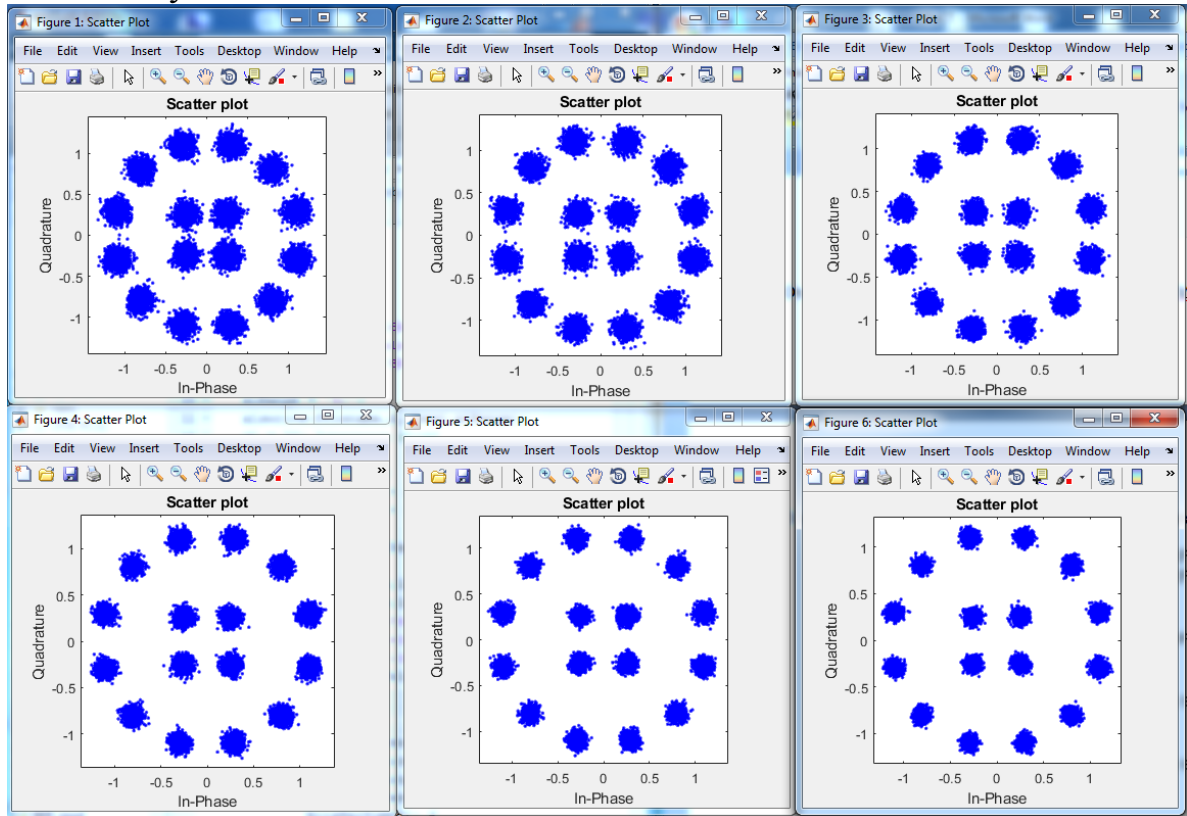


Рисунок В.5 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ;
 скорости LDPC: 2/3

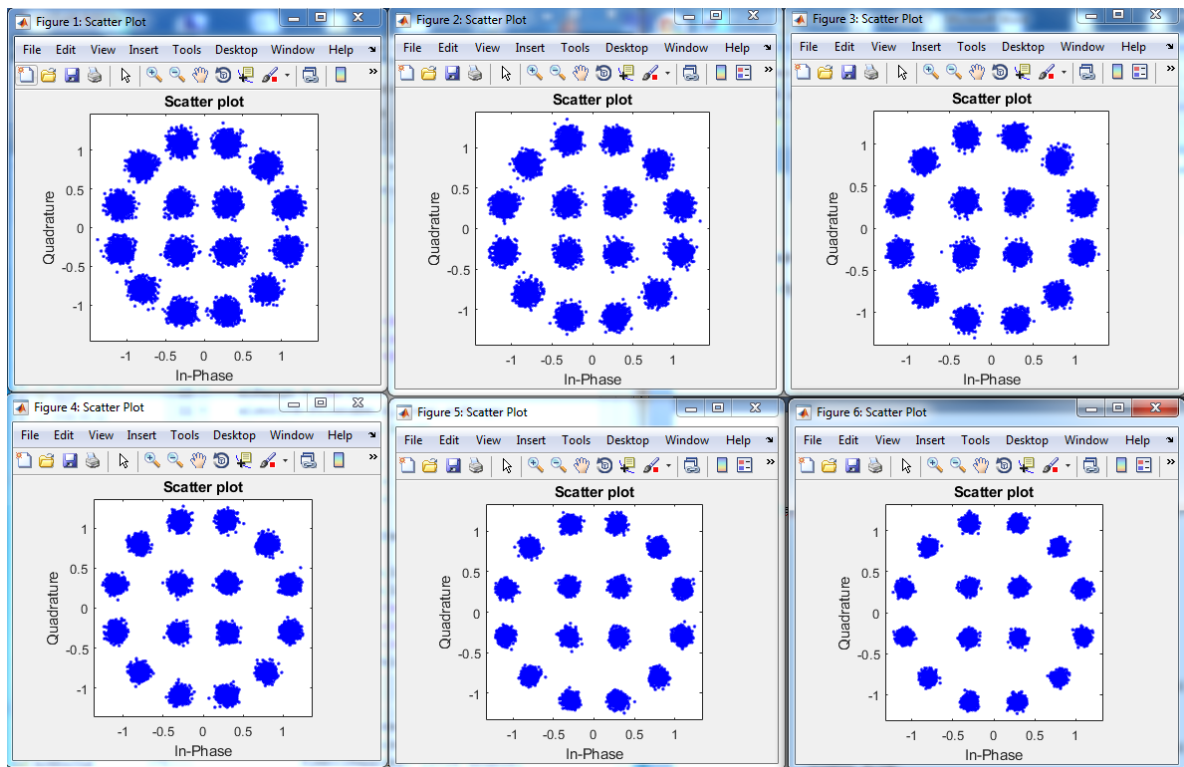


Рисунок В.6 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ;
 скорости LDPC: 9/10

3 Модуляция 32APSK.

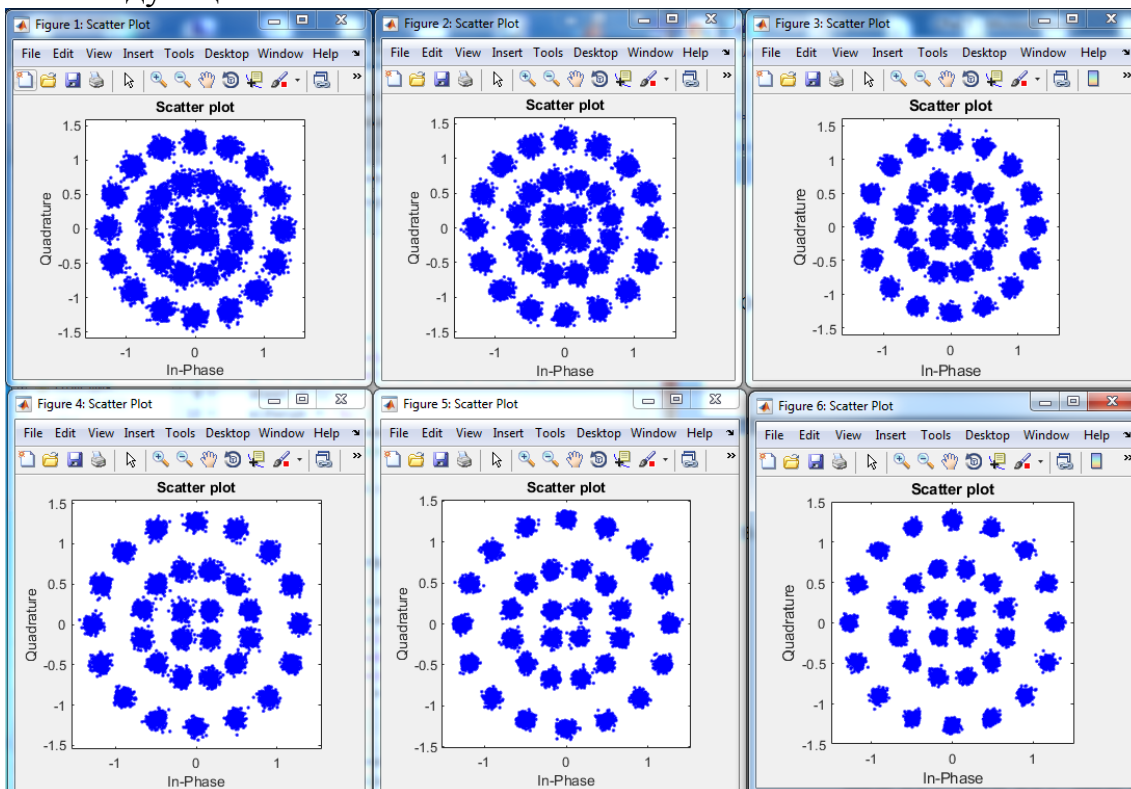


Рисунок В.7 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ; скорости LDPC: $\frac{3}{4}$

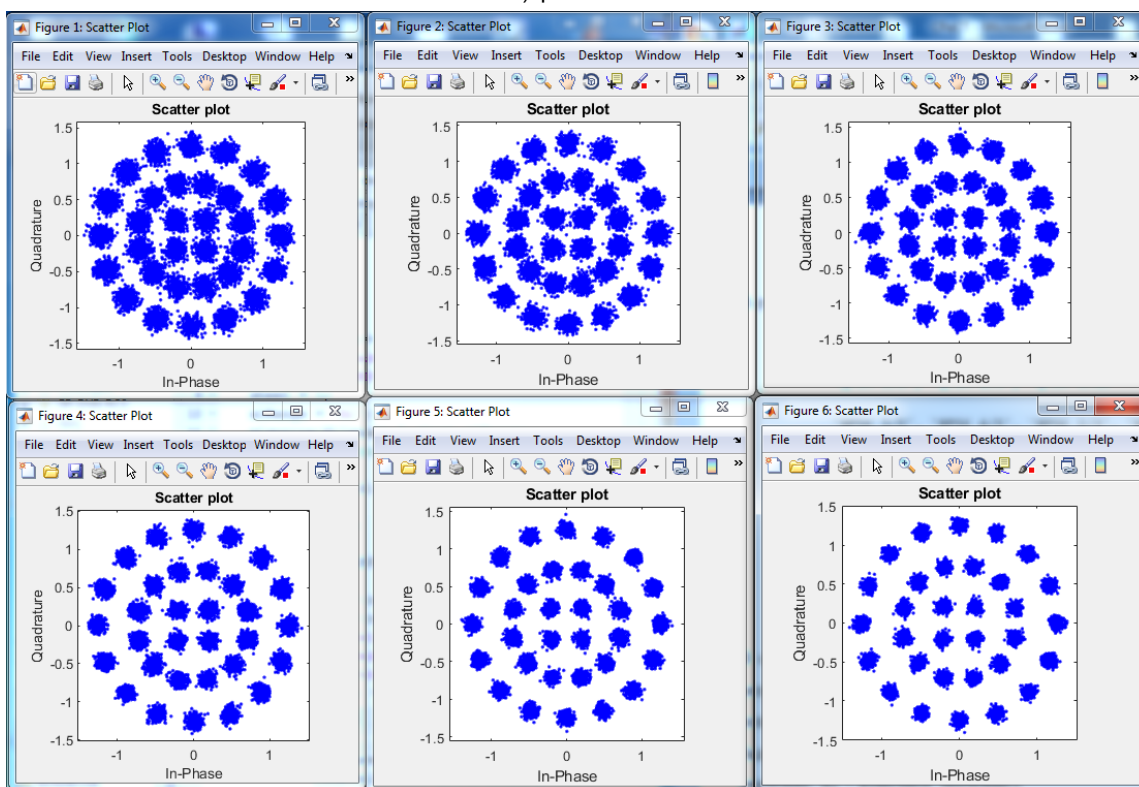


Рисунок В.8 – Созвездия при SNR: -5, 0, 5, 10, 15, 20 дБ; скорости LDPC: 9/10