

## 2.1. Исследование существующих моделей ПСОПДС со сжатием

Как было отмечено выше, принятые в настоящее время для использования на практике методики априорной оценки частных и комплексных показателей информативности СОПД основаны на предполагающейся линейности и изопланарности моделей всех элементов сквозного информационного тракта, а также статистическую независимость шумов, возникающих в СИТ. Широкое практическое использование подобных моделей обусловлено удобством анализа и синтеза СИТ, поскольку позволяет определить объективные параметры оптимизации, связанные с субъективными показателями качества ВД. Необходимо отметить, что показатели функционального качества любой информационной системы, подвергающейся исследованию (анализу и синтезу) на основе математической модели неразрывно связаны с самой моделью и обязательно должны являться либо параметрами этой модели, либо функционально связаны с такими параметрами, иначе задача синтеза теряет смысл.

Так, в рамках линейных моделей справедливо достаточно широкое применение в настоящее время находят такие показатели погрешности сжатия как дисперсия шума или среднеквадратическое отклонение (СКО), отношение сигнал/шум (ОСШ) и разрешающая способность.

Разрешающая способность как показатель качества (или степень искажения) репродукций реальных объектов связана с субъективным показателем информативности (вероятностью обнаружения или классификации объекта по репродукции) посредством теоретического критерия различения, установленного Джонсоном. С другой стороны, использование в качестве тест-объектов при оценке качества оптико-электронных систем штриховых мир (являющихся аналогом широкополосных тестовых сигналов, используемых для

оценки качества линейных систем), тесно связано с подразумеваемой линейностью (или линеаризуемостью посредством выбора контраста миры, эквивалентного среднему контрасту распознаваемых объектов) сквозного тракта формирования изображений.

Энергетические характеристики шума (ОСШ, СКО, и др.) позволяют также осуществить вполне корректный к оценке субъективного качества посредством экспериментальных (например Розеллом и Вильсоном [ ] ) или эмпирических (Хлявич [ ] ) зависимостей. С другой стороны, полученные ими результаты предполагают справедливость критерия Джонсона и статистическую независимость гауссовых шумов на формируемых СИТ изображениях.

Поэтому математические модели ПСОПДС, использующих алгоритмы сжатия на основе принципов дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (одно- и двумерные: ДИКМ, адаптивная ДИКМ, ДИКМ+статистическое кодирование др.) предполагают просто аддитивно-шумовые модели и соответственно в качестве показателей погрешности сжатия и помехоустойчивости в них используются только энергетические характеристики шума [ ].

Математические модели ПСОПДС, использующих алгоритмы сжатия на основе групповых унитарных преобразований (Уолша, Хаара, Фурье и др.) с последующим зональным или пороговым статистическим кодированием предполагают аналитическое вычисление оператора линейного преобразования (эквивалентного фильтра) и спектра шума квантования трансформант преобразования [ ]. При этом некоторые модели вообще не учитывают фильтрацию [ ], некоторые модели уточняют ее в части влияния блочного шума. Помехоустойчивость в этих моделях также учитывается путем учета в модели шума составляющей шума ЦКПД.

Математических моделей ПСОПДС, использующих алгоритмы сжатия ВД на основе адаптивных гибридных групповых методов кодирования (АГГМК), использующих адаптивные отсечку и квантование коэффициентов трансформант Фурье- или вейвлет преобразования с последующим энтропийным кодированием в научно-технической литературе практически не опубликовано.

Для проверки возможности использования широко используемых линейно-шумовых моделей кодеков для исследуемых вариантов ПСОПДС был выбран психо-физический эксперимент. Основной задачей эксперимента была проверка непротиворечивости и чувствительности линейной модели (критерия Джонсона) и аддитивно-шумовой модели для СОПД содержащую кодеки АГГМК.

### ***2.1.1. Методика проведения психофизического эксперимента***

Большинство информационных видеосистем (в т.ч. и СОПД) предназначено для того, чтобы помочь человеку (оператору-дешифровщику) обнаруживать, опознавать и классифицировать объекты на расстоянии. При проектировании же видеосистем в качестве показателей качества используют вероятностные оценки разрешения штриховых мир. Джонсон [ ] связал посредством психо-физического эксперимента вероятности разрешения штриховых мир с вероятностями обнаружения, различения и классификации репродукций реальных объектов.

Формируя с помощью видеосистемы изображения военных объектов и штриховых мир с разными пространственными частотами (при идентичных условиях по контрасту объект/фон и уровню освещенности), Джонсон провел сравнение способности наблюдателя разрешать изображение миры с его способностью обнаруживать, различать и опознавать военные объекты. В результате каждому из отмеченных выше уровней видения он поставил в

соответствие число полупериодов, которое должно быть разрешено в пределах минимального размера объекта.

Ранее на основе психофизического эксперимента получены аналогичные зависимости классификации на вид, класс, подкласс и тип простых объектов военной техники в зависимости от линейного разрешения на местности (в соответствии с ОСТ\_\_\_\_) для фотографических средств ДЗЗ, т.о. подтверждена справедливость критерия Джонсона.

Поэтому методика проведения психофизического эксперимента в рамках диссертационного исследования была целиком заимствована, за исключением способа регистрации оптической сцены в плоскости оптической системы. В качестве регистрирующего устройства использовалась строчно-кадровая ПЗС-матрица. Далее аналоговый видеосигнал оцифровывался и записывался в виде отдельных кадров в цифровой форме (TIFF, 8 bit, grayscale, 320×200 pix).

В качестве простых объектов ВТ использовались макеты военной техники стран НАТО масштаба 1:500. Для оценки линейного разрешения цифровой системы использовалась стандартная трехшпальная мира ЗКШ-17 с контрастом  $K_M=0,2$ . Для компенсации искажения интегральных панхроматических контрастов объектов ВТ и миры вследствие неравномерности спектральной чувствительности ПЗС-приемника использовалась цифровая обработка получаемых репродукций с целью приведения среднего контраста миры и объектов ВТ к значению 0,2. Полученные таким образом цифровые изображения миры и объектов ВТ сшивались в один кадр 640×200, верхняя половина которого представляла репродукцию миры, а нижняя - репродукции 20 простых объектов ВТ шести типов (танки М-60, «Шеридан» и «Леопард», самоходные артиллерийские установки М-107 и М-105, бронетранспортер СПВ-1). На рис.2.1-1

представлено одно из тест-изображений, сформированных для проведения эксперимента.

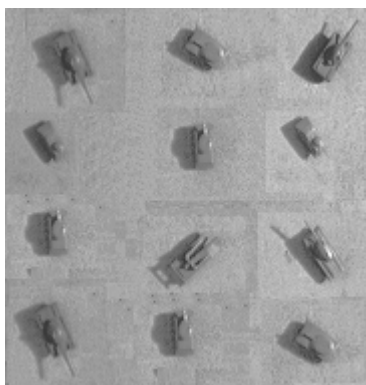


рис.2.1-1

Полученные изображения подвергались сжатию-восстановлению алгоритмом JPEG ( $p=\{8; 14; 16; 20; 30; 50; 70\}$ ), алгоритмом WIC-N, WIC-D4, WIC-D6 ( $p=\{3; 7; 11; 15; 19; 23; 27\}$ ) и алгоритмом FIF без использования шаблона (FIF-b) и с шаблонами типа мира (FIF-m) и техника (FIF-t) (значение параметра указано как прогнозируемая программой плотность кодирования  $p=\{0,14; 0,2; 0,3; 0,4\}$ , в качестве шаблонов использовались растровые изображения мира и объектов ВВТ с измененными контрастами и масштабом). Таким образом было сформировано 35 тестовых изображений.

Для обеспечения независимости испытаний при классификации отдельных объектов ВТ на групповом снимке взаимное местоположение объектов на различных снимках в каждом опыте изменялось. После выполнения процедуры сжатия-восстановления объекты на репродукции нумеровались и предъявлялись для классификации.

Дешифрирование начиналось со снимков наиболее низкой разрешающей способности и продолжалось в порядке предъявления репродукций с возрастающей детальностью. Каждый дешифровщик

устанавливал наиболее удобные для себя условия просмотра путем выбора освещенности рабочего места и масштаба изображения объекта ВВТ на мониторе. Начав работу со снимком дешифровщик обязан был полностью ее закончить и только после этого переходить к дешифрированию следующего изображения. Исправление полученных ранее результатов на этапах последующих, а также взаимные консультации дешифровщиков не допускались. На основании этого процедура классификации каждого отдельного объекта ВВТ считалась независимым событием и вероятность правильной его классификации в  $k$ -опытах считалась распределенной по биномиальному закону. Исходя из справедливости тезиса о равнозначности размена количества дешифровщиков на количество одноименных дешифрируемых объектов [ ] в опыте участвовало десять дешифровщиков (обученных и отобранных в соответствии с методикой [ ]), а количество предъявляемых для классификации одноименных объектов ВВТ выбиралось исходя из требуемой точности и надежности статистических оценок. Результаты расчетов необходимого количества испытаний  $k$  для получения статистических оценок  $\hat{P}_{KL}$  вероятности правильной классификации  $P_{KL}$ , не выходящих за пределы доверительных границ  $|\hat{P}_{KL} - P_{KL}| \leq 0,1$  и  $|\hat{P}_{KL} - P_{KL}| \leq 0,05$  при одностороннем коэффициенте доверия  $\alpha=0,95$  представлены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1.

$\hat{P}_{KL}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
$k \quad (\alpha=0,95;  \hat{P}_{KL} - P_{KL}  \leq 0,1)$	70	60	55	45	40	28
$k \quad (\alpha=0,95;  \hat{P}_{KL} - P_{KL}  \leq 0,05)$	400	300	200	150	100	60

По результатам эксперимента производилось статистическое оценивание вероятности правильной классификации (класс, подкласс, тип) объектов ВВТ и дисперсии оценки, эквивалентное линейное разрешение СИО (в масштабе моделей ВВТ). Также измерялись:

- средняя плотность кодирования сжатой репродукции объектов ВВТ

$$(2.1.1) \bar{n}_k = 8V_{СЖ}/64000 \text{ (бит/пиксел), где}$$

$V_{СЖ}$  - объем в байтах сжатого кода;

- среднеквадратическое отклонение (СКО) шума сжатия

$$(2.1.2) \sigma_{ш} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{200} \sum_{j=1}^{320} (Y[i, j] - Y_{СЖ}[i, j])^2}{64000}}, \text{ где}$$

$Y^*[i, j]$  - код яркости  $j$ -го элемента  $i$ -й строки исходного (восстановленного после сжатия) изображения;

- отношение сигнал/шум (ОСШ) сжатия

$$(2.1.3) ОСШ_{СЖ} = 20 \lg \frac{\sum_{i=1}^{200} \sum_{j=1}^{320} (Y[i, j])^2}{\sum_{i=1}^{200} \sum_{j=1}^{320} (Y[i, j] - Y_{СЖ}[i, j])^2} \text{ (децибел).}$$

### ***2.1.2. Исследование справедливости критерия Джонсона для СОПД со сжатием на основе АГГМК***

В результате обработки полученных в ходе психо-физического эксперимента данных были построены зависимости статистических оценок вероятности правильной классификации объектов типа СПВ-1, «Шеридан», М-60 и М-107 (до класса, подкласса и типа) при наличии в СИТ кодека на базе АГГМК от линейного разрешения на местности. Линейное разрешение определялось по ОСТ-\_\_\_\_\_ в масштабе моделей (в таблице 2.1.2. приведены

соотношения реальной ширины элементов шпалы мины ЗКШ-17 и в масштабе 1:200).

Таблица 2.1.2

№ элемента мины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Реальная ширина шпалы, мм	8,83	7,85	7,00	6,47	5,68	5,04	4,44	4,03	3,58	3,2	2,75	2,56	2,3
Ширина шпалы $\times 200$ , м	1,77	1,57	1,4	1,29	1,14	1,01	0,89	0,8	0,72	0,64	0,55	0,51	0,46

На рисунках 2.1.1 ÷ 2.1.3 приведены графики зависимостей правильной классификации для объекта «Шеридан». Незакрашенными маркерами обозначены интерполированные точки регрессий.

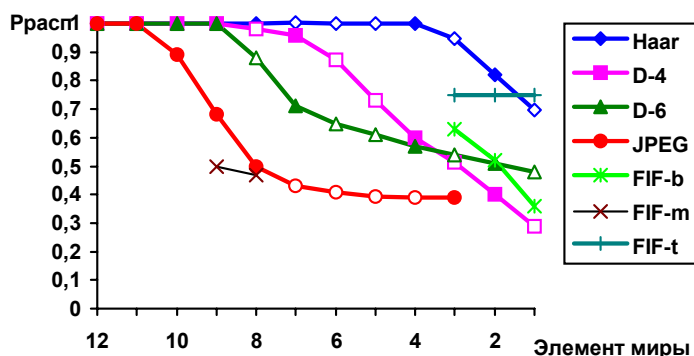


Рис.2.1.1. Зависимости статистической оценки вероятности распознавания объекта "Шеридан" до класса от показателя линейного разрешения для различных методов сжатия



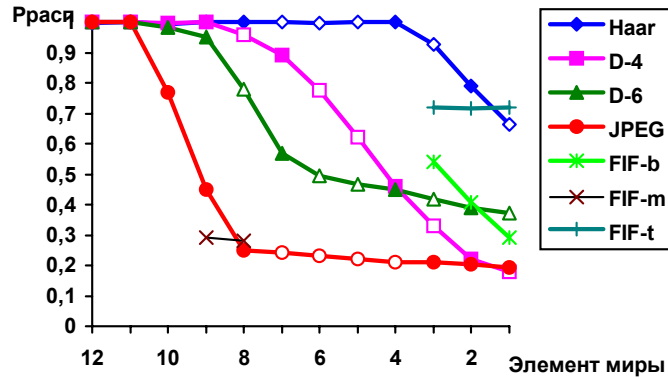


Рис.2.1.2. Зависимости статистической оценки вероятности распознавания объекта "Шеридан" до подкласса от показателя линейного разрешения для различных методов сжатия

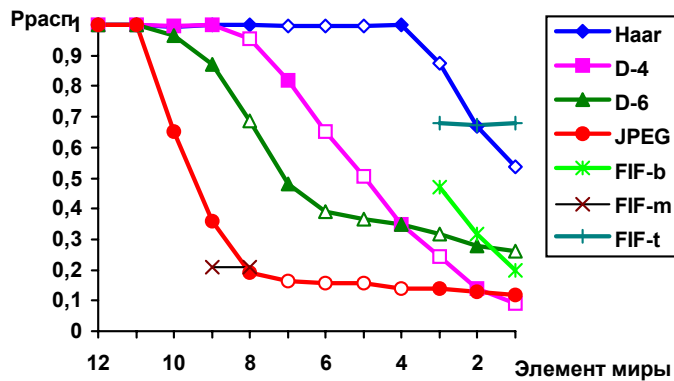


Рис.2.1.3. Зависимости статистической оценки вероятности распознавания объекта "Шеридан" до типа от показателя линейного разрешения для различных методов сжатия

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

1. Для различных алгоритмов сжатия с преобразованием (WIC, JPEG, FIF) связь между распознаванием штриховой миры и вероятностью распознавания простых объектов ВТ до различной степени подробности является значительно неоднозначной - таким образом, вероятность

распознавания штриховой миры нельзя применять в качестве собственного показателя степени искажений (погрешности сжатия) для сравнительной оценки эффективности сжатия различными алгоритмами.

2. Для отдельно взятого алгоритма наблюдается монотонная зависимость между распознаванием штриховой миры и вероятностью распознавания простых объектов ВВТ - таким образом, вероятность распознавания штриховой миры можно применять в качестве собственного показателя качества (погрешности сжатия) для сравнительной оценки эффективности сжатия одним алгоритмом при различных параметрах.

### ***2.1.3. Исследование зависимости вероятности правильной классификации объектов ВВТ от характеристик шума сжатия***

В результате обработки полученных в ходе психо-физического эксперимента данных были построены зависимости статистических оценок вероятности правильной классификации объектов типа СПВ-1, «Шеридан», М-60 и М-107 (до класса, подкласса и типа) при наличии в СИТ кодека на базе АГГМК от энергетических характеристик шума сжатия - СКО и ОСШ. На рисунках 2.1.4 ÷ 2.1.5 приведены графики зависимостей правильной классификации для объекта «Шеридан».

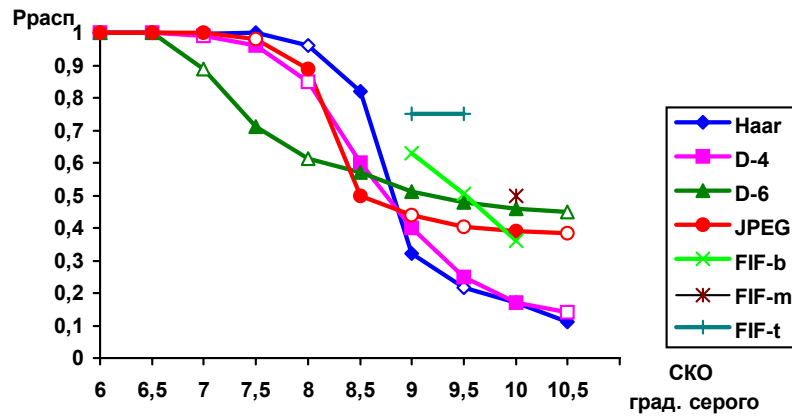


Рис.2.1.4. Зависимости статистической оценки вероятности распознавания объекта "Шеридан" до подкласса от СКО шума для различных методов сжатия

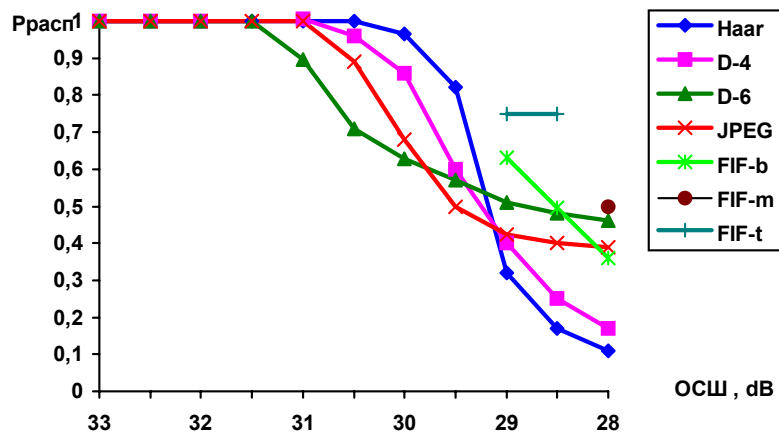


Рис.2.1.5. Зависимости статистической оценки вероятности распознавания объекта "Шеридан" до подкласса от ОСШ для различных методов сжатия

Для исследования зависимости средней удельной длины кода от энергетических характеристик шума также были построены графики (Рис.2.1.6. и 2.1.7.)

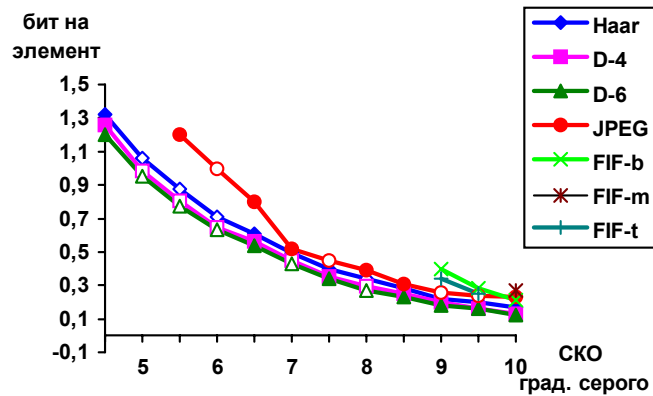


Рис.2.1.6. Зависимости средней удельной плотности кодирования от СКО ошибки сжатия для различных алгоритмов

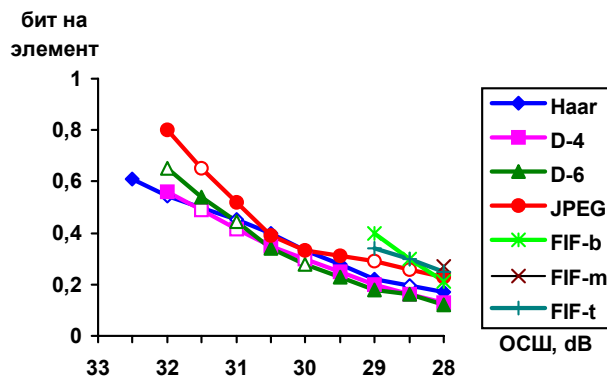


Рис.2.1.7. Зависимости средней удельной плотности кодирования от ОСШ сжатия для различных алгоритмов

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

1. Статистическая оценка вероятности опознавания простых объектов не является однозначной функцией от СКО и ОСШ сжатия для различных алгоритмов. Таким образом, СКО и ОСШ погрешности сжатия не могут быть использованы в качестве показателей погрешности сжатия при оценке различных алгоритмов. В то же время наблюдается монотонная зависимость вероятности распознавания для отдельно взятого алгоритма, что позволяет использовать эти показатели в качестве показателей погрешности в рамках одного конкретного алгоритма.

2. Обобщенная аддитивно-шумовая модель алгоритмов сжатия также не является адекватной вследствие выводов по п.1.
3. Наблюдается монотонная зависимость средней удельной плотности кодирования от ОСШ и СКО шума сжатия для каждого, отдельно рассматриваемого, из алгоритмов.

Результаты полученные в ходе психофизического эксперимента опровергают гипотезу об аддитивности и статистической независимости шумов сжатия. Поэтому в следующем подразделе будет проведено исследования статистических и спектральных свойств шумов.