

Краткое руководство по протоколу Q65

Joe Taylor, K1JT; Bill Somerville, G4WJS; Steve Franke, K9AN; and Nico Palermo, IV3NWV April 3, 2021

Перевод на русский язык Николая Большакова, RA3TOX.

WSJT-X 2.4.0 и более новые версии представляет цифровой протокол **Q65**, разработанный для минимальных двусторонних QSO на особенно сложных трассах распространения. На трассах с доплеровским разбросом более нескольких Гц производительность слабого сигнала **Q65** является лучшей среди всех режимов WSJT-X. **Q65** особенно эффективен для тропосферного рассеяния, рассеяния в дожде, ионосферного рассеяния и EME на VHF и более высоких диапазонах, а также других типов быстро затухающих сигналов.

Q65 использует 65-тоновую частотную манипуляцию и основывается на продемонстрированных слабых сигналах QRA64, режима, представленного в WSJT-X в 2016 году. **Q65** отличается от QRA64 следующими важными моментами:

- Новый низкоскоростной код Q-ary Repeat Accumulate для прямой коррекции ошибок
- Пользовательские сообщения и последовательность, идентичные таковым в FST4, FT4, FT8 и MSK144
- Уникальный тон для синхронизации времени и частоты. Как и в JT65, этот «синхротон» легко виден на спектральном дисплее водопада. Кроме того, **Q65** обеспечивает чувствительную «синхрокривую» около нижней части окна водопада. В отличие от **JT65**, синхронизация и декодирование эффективны даже при наличии метеорных пингов или других коротких усилений сигнала.
- Дополнительные подрежимы с длиной последовательности T/R 15, 30, 60, 120 и 300 с и различными интервалами между тонами.
- Новая, высоконадежная технология декодирования списков для сообщений, содержащих ранее скопированные фрагменты сообщений. База данных позывных не используется.
- Высокоэффективное усреднение сообщений для ситуаций, когда отдельные передачи слишком слабы для декодирования.
- Опция «мульти-декодирования», которая пытается декодировать все сигналы Q65 в принимаемой полосе пропускания.

Основные параметры **Q65** для каждой из пяти длин последовательности T/R и их минимальные интервалы между тонами (подрежимы «А») обобщены в таблице ниже. Пороговые чувствительности (SNR в полосе пропускания 2500 Гц, дающие 50% вероятности декодирования) были измерены для каждого подрежима с использованием моделирования по каналу аддитивного белого гауссовского шума (AWGN). Как и в других недавно разработанных

режимах в WSJT-X, функция, называемая априорным (AP) декодированием, повышает чувствительность на несколько дополнительных дБ по мере накопления информации во время стандартного минимального QSO.

T/R Period (s)	Symbol Length (s)	"A" Tone Spacing (Hz)	"A" Occupied Bandwidth (Hz)	Transmission Duration (s)	SNR (dB)	Max AP SNR (dB)
15	0.150	6.667	433	12.8	-22.2	-23.7
30	0.300	3.333	217	25.5	-24.8	-26.6
60	0.600	1.667	108	51.0	-27.6	-30.2
120	1.333	0.750	49	113.3	-30.8	-32.5
300	3.456	0.289	19	293.8	-33.8	-37.4

Прямая коррекция ошибок (FEC) в **Q65** использует специально разработанный (65,15) блочный код с шестибитными символами. Два символа «выкалываются» из кода, что дает эффективный (63,13) код с полезной нагрузкой k=13 информационных символов, передаваемых n=63 символами канала. Выколотые символы состоят из 12-битного CRC, вычисленного из 13 информационных символов. CRC используется для снижения частоты ложного декодирования до очень низкого значения. 22-символьная псевдослучайная последовательность, распределенная по всей передаче, отправляется как «тон 0» и используется для синхронизации. Таким образом, общее количество символов канала в передаче **Q65** составляет 63+22=85.

Для каждой длины последовательности T/R подрежимы A - E имеют интервалы между тонами и занимаемую полосу пропускания в 1, 2, 4, 8 и 16 раз больше, чем указано в таблице выше. Полные обозначения подрежимов включают число для длины последовательности и букву для интервала между тонами, как в Q65-15A, Q65-120C и т. д. Интервалы между тонами и занимаемые полосы пропускания для более широких подрежимов суммированы в таблице ниже. Дополнительные подрежимы 120F, 300F и 300G могут быть реализованы в будущем, если возникнет осознанная необходимость.

T/R Period (s)	A		B		C		D		E	
	Spacing (Hz)	Width (Hz)	Spacing (Hz)	Width (Hz)	Spacing (Hz)	Width (Hz)	Spacing (Hz)	Width (Hz)	Spacing (Hz)	Width (Hz)
15	6.67	433	13.33	867	26.67	1733	N/A		N/A	
30	3.33	217	6.67	433	13.33	867	26.67	1733	N/A	
60	1.67	108	3.33	217	6.67	433	13.33	867	26.67	1733
120	0.75	49	1.50	98	3.00	195	6.00	390	12.00	780
300	0.29	19	0.58	38	1.16	75	2.31	150	4.63	301

Опыт работы в эфире в течение первых шести месяцев тестирования показал, что **Q65** более чувствителен, чем любой другой режим WSJT-X, когда доплеровское разброс по траектории составляет более нескольких Гц. Прекрасным примером целевого использования **Q65** является ионосферное

рассеяние на 6-метровом диапазоне. Обширные испытания на 1150-километровом пути между K1JT и K9AN показали, что при выходной мощности 300 Вт почти каждая передача Q65-30A корректно копируется другой станцией. **Q65** позволит станциям со скромной Yagi и 100 Вт или более работать друг с другом на 6 м на расстояниях до ~1600 км в большинство дней года и условиях мертвой зоны. Ионосферное рассеяние лучше всего проявляется около полудня и в летние месяцы, но присутствует всегда.

За последние шесть месяцев было проведено множество испытаний **Q65** на EME, тропосферном рассеянии, дождевом рассеянии, оптическом рассеянии и других потенциально интересных путях. Мы обнаружили, что подходящие подрежимы **Q65** хорошо работают в самых разных условиях. Декодирование эффективно для сигналов с доплеровским разбросом до десятикратного интервала между тонами и даже больше.

Рекомендуемые подрежимы, которые, как известно, эффективны для определенных приложений, включают следующее. Очевидно, вы можете свободно экспериментировать с другими комбинациями. Пожалуйста, сообщите о своих результатах на подходящем форуме!

- Ионосферное рассеяние на 50 МГц: **30A**
- Ионосферное рассеяние QRP на 50 МГц: **120E**
- Ионосферное рассеяние на 144 МГц: **60C**
- Тропическое рассеяние и дождевое рассеяние на 10 ГГц: **60D**
- Малогабаритный EME, 10 и 24 ГГц: **120E**
- Другие EME: 50, 144 МГц **60A**; 432 МГц **60B**; 1296 МГц: **60C**; 10 ГГц: **60D**

Некоторые репрезентативные кривые чувствительности из измерений моделирования представлены на рисунках 1 и 2.

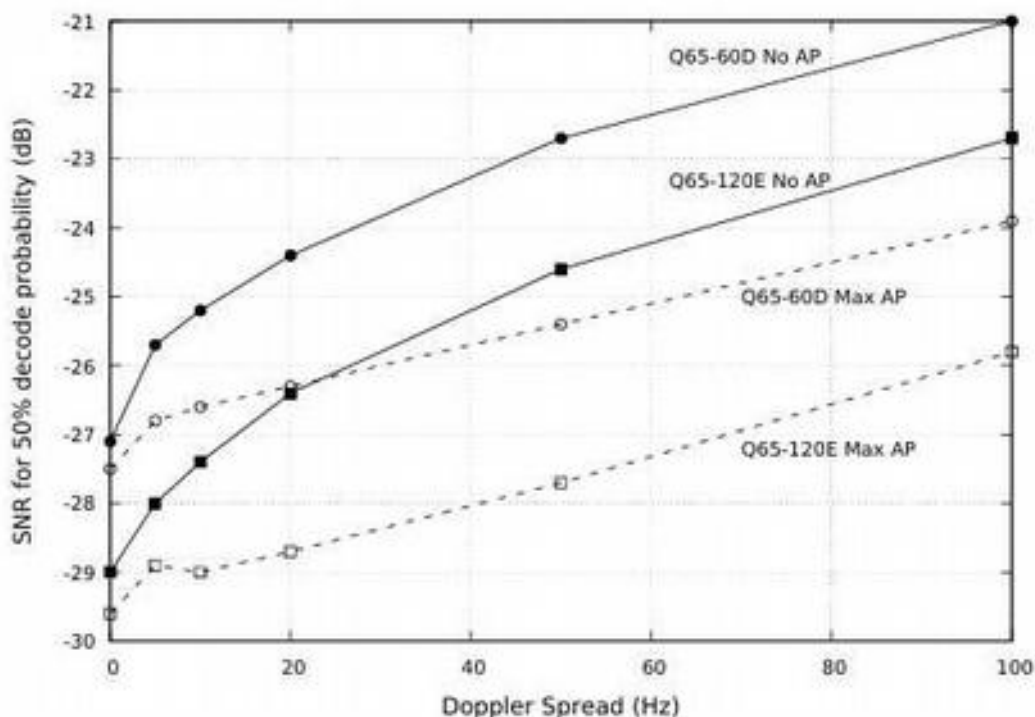


Рисунок 1. – Пороговые чувствительности для Q65-60D и Q65-120E как функция частотного разброса

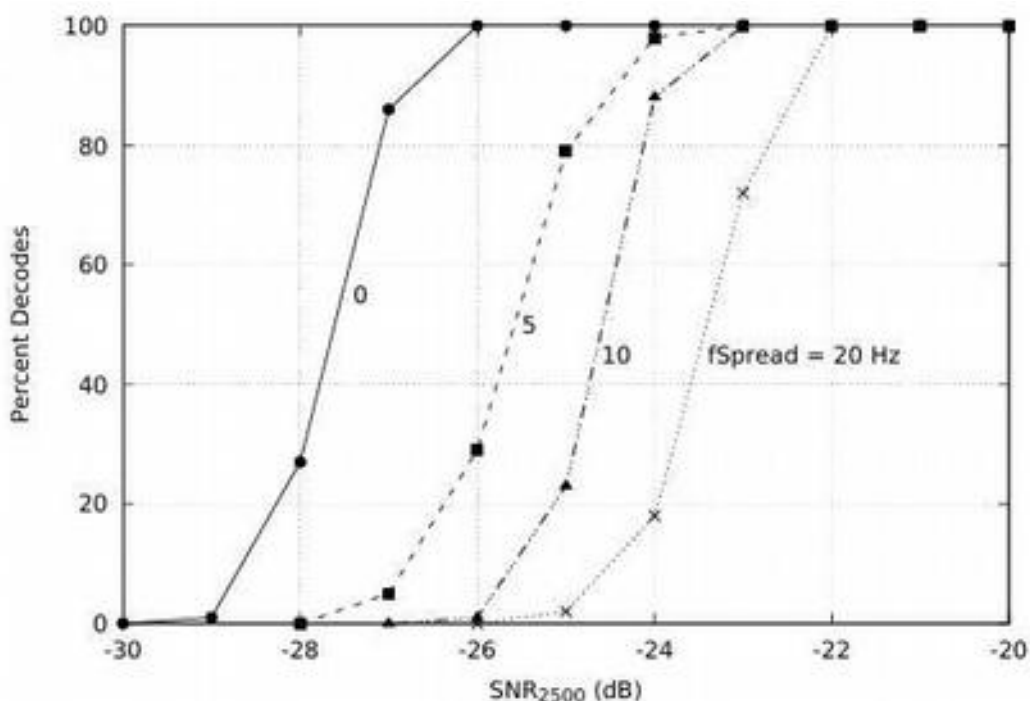


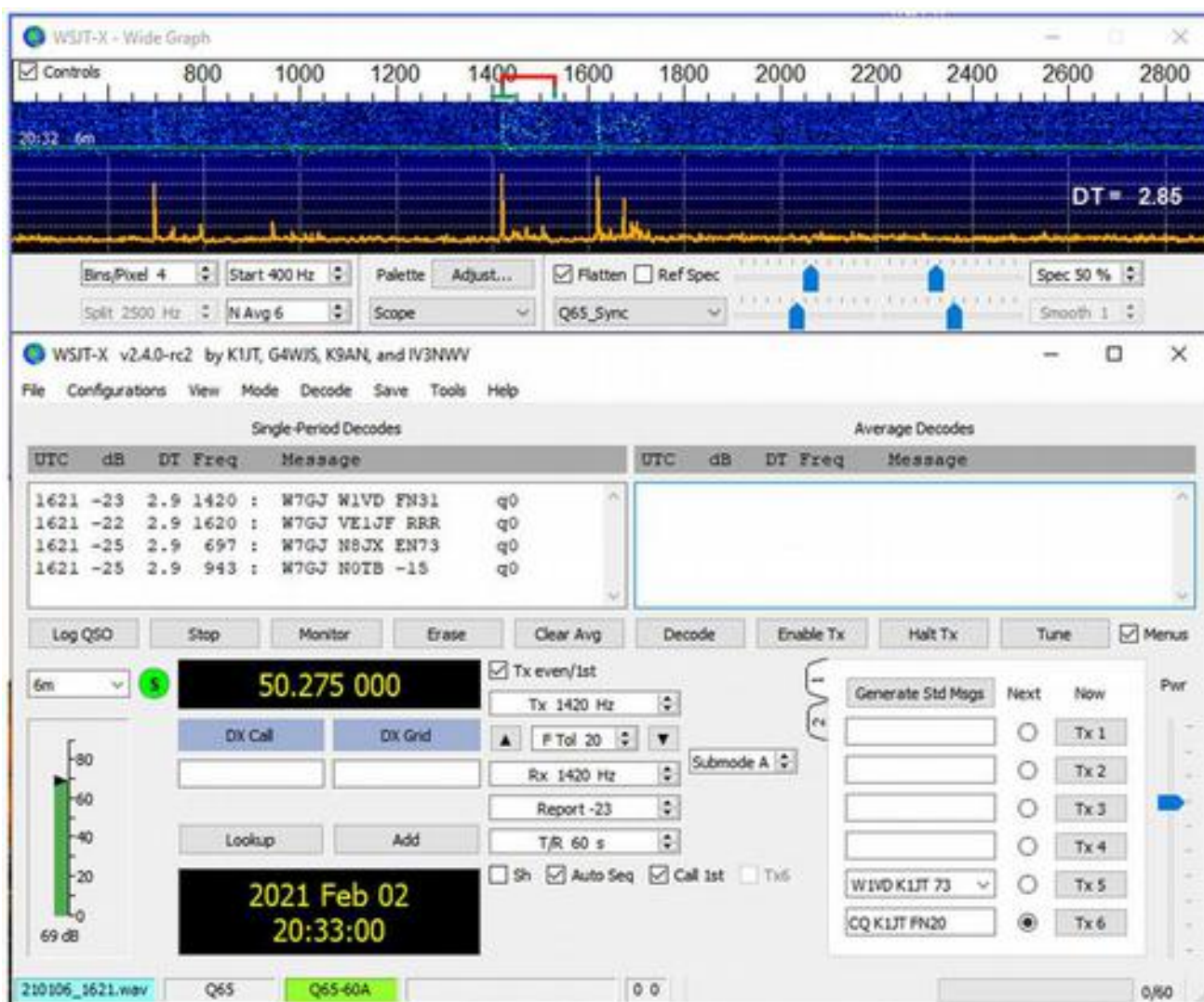
Рисунок 2. – Вероятность декодирования Q65-60A (без AP)
как функция SNR и частотного разброса

В большинстве случаев работа с **Q65** похожа на работу с другими популярными режимами WSJT-X, но вам следует знать о некоторых различиях. Многие из них представлены в следующем коротком руководстве, которое я рекомендую изучить, прежде чем вы приступите к проведению QSO с **Q65**.

1. Загрузите коллекцию файлов образцов **Q65** с https://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/Q65_Samples.zip и распакуйте ее в удобный каталог, например C:\WSJT-X\Q65_Samples

2. Запустите WSJT-X 2.4.0, выберите режим **Q65** и настройте другие параметры, как показано на снимке экрана ниже. На вкладке **File -> Settings -> General** обязательно отметьте **Enable VHF and submode features** (Включить функции VHF и подрежима) и **Decode after EME delay** (Декодирование после задержки EME) и снимите отметку **Одиночное декодирование**. В меню **Decode** выберите **Fast, Enable averaging** (Быстро, Включить усреднение) и **Auto Clear Avg after decode** (Автоматическая очистка после декодирования).

3. Перейдите в **File -> Open**, перейдите к месту сохранения файлов образцов и откройте файл ...\\Q65_Samples\\60A_EME_6m\\210106_1621.wav. Вы должны увидеть что-то вроде этого снимка экрана, на котором показаны декодирования четырех 6-метровых сигналов EME, полученных в W7GJ 6 января 2021 года. Обратите внимание, что декодирование сначала происходит на выбранной частоте приема **Rx Freq**, а затем на других частотах.



4. Обратите внимание, что **Q65 Sync** выбран в нижней части окна Wide Graph. Этот выбор включает оранжевую «кривую синхронизации», специальную функцию **Q65**, которая обеспечивает чувствительные указания того, где могут присутствовать синхронизирующие тоны **Q65**. Здесь вы можете видеть значительные пики на частотах 697, 943, 1420 и 1620 Гц, а панель **Single-period Decodes** показывает декодирование на каждой из этих частот. Сильные сигналы **Q65** показывают дополнительную «траву» на оранжевой кривой справа от синхронизирующего тона. Декодер обычно игнорирует их.

5. Декодирование Q65 всегда помечается строчной буквой «q», за которой следует одна или две десятичные цифры. Первая цифра указывает тип используемой априорной (AP) информации, если таковая имеется. Вторая цифра, если она присутствует, показывает количество последовательностей Rx, которые были усреднены для получения декодирования.

6. Чтобы получить представление о некоторых из этих функций, переключитесь в подрежим Q65-30A, установите **Rx Freq** на 1000 Гц и откройте первый файл образца в каталоге ... \Q65_Samples\30A_Ionoscatter_6m. Этот файл не будет декодироваться, но если вы выберете **File -> Open next in directory** (или

дважды нажмете F6), чтобы прочитать следующие два файла, вы должны увидеть

022900 -19 0.4 1010 : K1JT K9AN R-16 q03

на панели **Average Decodes**. (Обязательно дождитесь, пока синий индикатор декодирования **Decode** не очистится, прежде чем нажимать **F6**.) Ни один из файлов в 022700, 022800 или 022900 UTC не предоставит декодирование само по себе, но среднее значение всех трех предоставит.

7. Перейдите в **File -> Settings -> General** (или нажмете F2) и временно установите **MyCall** на K1JT. Дважды щелкните кнопку Стереть, чтобы очистить обе панели декодированного текста, а затем повторите последовательность открытия первых двух файлов образцов в каталоге 30A_Ionoscatteer_6m. Теперь вы должны увидеть

022900 -20 0.4 1010 : K1JT K9AN R-16 q22

на панели **Average Decodes**. Флаг «q22» показывает, что с первым позывным, уже доступным в качестве информации AP, действительное декодирование получается из сигналов всего за две последовательности Rx.

8. Нажмите F6 еще два раза, чтобы прочитать и обработать третий и четвертый файлы в этом каталоге. Файл в 022900 UTC не будет декодироваться, но файл в 024000 выдаст результат

024000 -21 0.3 1010 : K1JT K9AN R-16 q2

на панели **Single-Period Decodes**. Опять же, информация AP для первого позывного сделала декодирование возможным.

9. Дважды щелкните по строке декодированного текста, чтобы K9AN был скопирован в поле ввода **DX Call**. Теперь вы должны обнаружить, что два из четырех файлов в каталоге 30A_Ionoscatteer_6m будут декодироваться немедленно с флагами «q3». Это происходит потому, что оба позывных теперь доступны как информация AP. Вы также можете заметить, что красная кривая синхронизации теперь отображается вместе с оранжевой кривой. Для декодирования «q3» красная кривая является наиболее чувствительным индикатором правильной синхронизации.

10. К настоящему моменту вы должны знать достаточно, чтобы исследовать и декодировать сигналы во всех оставшихся подкаталогах файлов образцов. Сигналы в этих файлах слабые и могут быть нелегко увидеть на водопаде. Установите подрежимы, как указано в именах подкаталогов и частоте приема **Rx Freq**, на значения, показанные в таблице на следующей странице. Все файлы образцов являются реальными эфирными сигналами, записанными пользователями WSJT-X 2.4.0, которые были частью тестовой группы **Q65**. Они предоставляют хорошие примеры сигналов на самых разных путях распространения.

Subdirectory	Rx Freq	Message
60B_1296_Troposcatter	1000	VK7MO VK7PD QE38
60D_EME_10GHz	1000	VK7MO K6QPV DM12
12D_Rainscatter_10GHz	1000	VK3WE VK7MO QE37
120E_Ionoscatteer_6m	1800	KB7IJ NOAN 73
300A_OpticalScatter	1000	VK7MO VK7PD QE38

11. При использовании файлов примеров вам следует поэкспериментировать с включением и выключением различных функций программы, таких как **Single decode**, **Enable averaging** и **Auto Clear Avg after decode**. Попробуйте дважды щелкнуть по водопаду, чтобы декодировать определенный сигнал, используя, например, сигналы в подкаталоге *60A_EME_6m*. Не обращайтесь слишком много внимания на отображаемые значения SNR для принятых сигналов. Мы работаем над более надежным алгоритмом оценки этих чисел.

12. Чтобы еще лучше понять, как **Q65** работает для EME на нижних диапазонах VHF, вы можете загрузить множество дополнительных файлов здесь: https://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/60A_EME_6m_2.zip Каждый из этих файлов, записанных на 6 метров W7GJ, включает в себя как минимум два декодируемых сигнала EME. По причинам, которые вы теперь должны понимать, для полной чувствительности потребуется декодировать их с **MyCall**, установленным на W7GJ.

13. Наконец, вот сводка значений флагов «q#»:

- q0 ?
- q1 CQ ? ?
- q2 MyCall ? ? ? ?
- q3 MyCall DxCall ?
- q4 MyCall DxCall [| RRR | RR73 | 73]