

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Общенаучный факультет

Кафедра математики

Отчет по лабораторной работе № 3

Тема «Модели условной гетероскедастичности. Построение
моделей условной гетероскедастичности ARCH/GARCH
временного ряда курса Биткойна»

Группа ПМИ-102м

Студент

(дата)

(подпись)

Абдулин И. Н.
(Фамилия И.О.)

Проверил

(дата)

(подпись)

Лакман И. А.
(Фамилия И.О.)

Уфа 2017

Цель работы

Построение моделей условной гетероскедастичности ARCH/GARCH для временного ряда.

Задачи

1. Проанализировать остатки после модели ARMA на наличие ARCH-эффектов с помощью ARCH LM теста. Результаты теста при нулевой гипотезе об отсутствии ARCH-эффектов принимаются в том случае, если ошибка отклонения этой гипотезы превышает 5%. То есть, если эта ошибка меньше 5%, то ARCH-эффекты статистически значимы и имеется целесообразность построения ARCH/GARCH модели.
2. на основе анализа коррелограмм АКФ и ЧАКФ квадратов стандартизированных остатков модели ARMA проверить наличие ARCH/GARCH и идентифицировать (определить) порядки модели.
3. методом максимального правдоподобия найти оценки параметров моделей ARCH. Проанализировать полученные результаты с точки зрения качества.
4. Подобрать вид распределения под оставшуюся остаточную компоненту. Для этого проверить остатки после построения ARCH модели на нормальность с помощью теста Бера-Жарка, и если распределение не подчиняется нормальному, то перестраиваем модель методом квазimaxимального правдоподобия с подчинением остатков распределению Т-Стьюдента или GED-распределению. Проверить статистическую значимость полученной модели.
5. Проанализировать качество построенной модели. Остатки модели должны соответствовать белому шуму и ARCH LM тест должен подтвердить отсутствие ARCH-эффектов в модели.
6. Проанализировать решение задач 3-5 только для обобщенно GARCH-модели.

7. При необходимости проведение процедур селекций между ARCH и GARCH.

Ход работы

Задача 1

Результаты ARCH LM-теста остатков модели ARMA:

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	7.061942	Prob. F(1,195)	0.0085	
Obs*R-squared	6.885030	Prob. Chi-Square(1)	0.0087	
Test Equation:				
Dependent Variable: WGT_RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 04/16/17 Time: 18:33				
Sample (adjusted): 5/13/2013 2/13/2017				
Included observations: 197 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.548412	0.089985	6.094495	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	0.187085	0.070401	2.657431	0.0085
R-squared	0.034949	Mean dependent var	0.673079	
Adjusted R-squared	0.030000	S.D. dependent var	1.094315	
S.E. of regression	1.077775	Akaike info criterion	2.997775	
Sum squared resid	226.5118	Schwarz criterion	3.031107	
Log likelihood	-293.2808	Hannan-Quinn criter.	3.011268	
F-statistic	7.061942	Durbin-Watson stat	1.973509	
Prob(F-statistic)	0.008527			

Рисунок 1. Результаты ARCH LM-теста.

Нулевая гипотеза об отсутствии ARCH-эффектов не подтверждена, так как соответствующий F -статистике p -уровень меньше 5%. То есть, целесообразно построение ARCH/GARCH-модели.

Задача 2

Коррелограммы квадратов остатков имеют следующий вид:

Date: 04/16/17 Time: 18:38
Sample: 2/11/2013 2/13/2017
Included observations: 198



































































Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*	
		1	0.187	0.187	6.9975	0.008
		2	-0.033	-0.071	7.2210	0.027
		3	0.109	0.134	9.6130	0.022
		4	0.080	0.031	10.911	0.028
		5	0.054	0.049	11.506	0.042
		6	0.012	-0.014	11.537	0.073
		7	0.067	0.066	12.468	0.086
		8	0.027	-0.014	12.622	0.126
		9	0.035	0.040	12.881	0.168
		10	-0.030	-0.064	13.068	0.220
		11	0.024	0.044	13.188	0.281
		12	-0.002	-0.041	13.190	0.355
		13	-0.043	-0.023	13.587	0.404
		14	0.025	0.026	13.723	0.471
		15	0.053	0.047	14.322	0.501
		16	-0.118	-0.144	17.361	0.363
		17	-0.103	-0.038	19.668	0.292
		18	0.002	-0.006	19.668	0.352
		19	0.005	0.024	19.674	0.414
		20	0.097	0.124	21.759	0.354
		21	-0.061	-0.091	22.579	0.367
		22	-0.032	0.012	22.808	0.413
		23	0.015	-0.009	22.859	0.469
		24	-0.041	-0.031	23.238	0.506
		25	-0.132	-0.120	27.232	0.344
		26	-0.041	0.009	27.615	0.378
		27	0.024	0.005	27.747	0.424
		28	-0.027	0.013	27.916	0.469
		29	0.163	0.189	34.160	0.233
		30	0.035	-0.019	34.448	0.263
		31	-0.009	0.029	34.466	0.305
		32	0.111	0.096	37.397	0.235
		33	0.045	-0.026	37.893	0.256
		34	-0.033	-0.067	38.151	0.286
		35	-0.118	-0.154	41.512	0.208
		36	-0.043	0.000	41.966	0.228

Рисунок 2. Коррелограммы АКФ и ЧАКФ квадратов остатков модели.

В силу того, что максимальный лаг отклонения равен 3, то предполагаем, что порядок ARCH/GARCH равен 3.

Задачи 3-5

Результаты оценки ARCH модели, порядок 3:

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 04/16/17 Time: 18:41
Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
Included observations: 198 after adjustments
Convergence achieved after 90 iterations
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
GARCH = C(6) + C(7)*RESID(-1)^2 + C(8)*RESID(-2)^2 + C(9)*RESID(-3)^2

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.735705	1.012189	1.714803	0.0864
AR(1)	0.190035	0.079195	2.399587	0.0164
AR(3)	-0.104712	0.056766	-1.844620	0.0651
AR(5)	-0.105325	0.024142	-4.362648	0.0000
AR(11)	-0.136789	0.037735	-3.624977	0.0003

Variance Equation				
C	41.19909	26.89422	1.531894	0.1255
RESID(-1)^2	1.024618	0.206988	4.950142	0.0000
RESID(-2)^2	0.643699	0.186004	3.460671	0.0005
RESID(-3)^2	0.191956	0.073097	2.626058	0.0086

R-squared	0.086396	Mean dependent var	4.567475
Adjusted R-squared	0.067461	S.D. dependent var	48.83636
S.E. of regression	47.16032	Akaike info criterion	9.723218
Sum squared resid	429250.5	Schwarz criterion	9.872685
Log likelihood	-953.5986	Hannan-Quinn criter.	9.783718
Durbin-Watson stat	1.749866		

Inverted AR Roots	.80-.26i	.80+.26i	.59+.64i	.59-.64i
	.13+.82i	.13-.82i	-.32-.76i	-.32+.76i
	-.68-.43i	-.68+.43i	-.85	

Рисунок 3. Результаты построения ARCH-модели 3 порядка.

При условии того, что остатки подчиняются нормальному распределению, коэффициент $ar(3)$ статистически не значим, поэтому модель плохая. Проведение анализа белого шума для модели со статистически незначимыми коэффициентами смысла не несет.

Снизим порядок ARCH модели до 2.

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
 Date: 04/16/17 Time: 19:07
 Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
 Included observations: 198 after adjustments
 Convergence not achieved after 500 iterations
 Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 GARCH = C(6) + C(7)*RESID(-1)^2 + C(8)*RESID(-2)^2

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.364214	1.500783	-0.242683	0.8083
AR(1)	0.328205	0.071237	4.607235	0.0000
AR(3)	-0.261544	0.039054	-6.696933	0.0000
AR(5)	-0.094718	0.023958	-3.953501	0.0001
AR(11)	-0.055497	0.028024	-1.980362	0.0477
Variance Equation				
C	127.6852	50.93977	2.506591	0.0122
RESID(-1)^2	0.678966	0.161899	4.193777	0.0000
RESID(-2)^2	0.842038	0.194408	4.331301	0.0000
R-squared	0.108469	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.089992	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	46.58713	Akaike info criterion		9.802772
Sum squared resid	418879.6	Schwarz criterion		9.935631
Log likelihood	-962.4744	Hannan-Quinn criter.		9.856549
Durbin-Watson stat	1.973134			
Inverted AR Roots	.72-.26i	.72+.26i	.59-.62i	.59+.62i
	.15+.74i	.15-.74i	-.27+.69i	-.27-.69i
	-.62-.37i	-.62+.37i	-.80	

Рисунок 4. Результаты теста на нормальность модели

Теперь коэффициенты ARMA модели статистически значимы, но, согласно показателю R^2 , прогнозная способность модели по прежнему плохая (10%).

Проведем анализ белого шума.

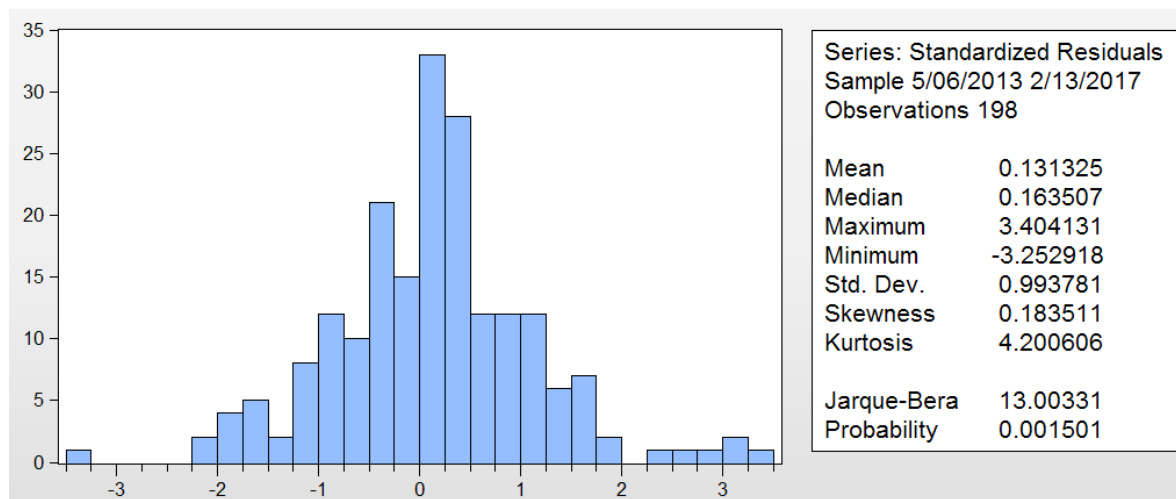


Рисунок 5. Результаты построения ARCH-модели 2 порядка.

Тест на нормальность не выполняется:

- коэффициент эксцесса не близок к трём (4,2);
- вероятность P меньше 5% (0%).

Попробуем улучшить модель путем подбора других распределений для остатков.

Стьюдента распределение.

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Student's t distribution
 Date: 04/16/17 Time: 19:17
 Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
 Included observations: 198 after adjustments
 Convergence achieved after 82 iterations
 Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 GARCH = C(6) + C(7)*RESID(-1)^2 + C(8)*RESID(-2)^2

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	2.537634	1.210879	2.095695	0.0361
AR(1)	0.204483	0.061809	3.308324	0.0009
AR(3)	-0.019195	0.048700	-0.394147	0.6935
AR(5)	0.011839	0.043630	0.271339	0.7861
AR(11)	-0.173818	0.022856	-7.604999	0.0000
Variance Equation				
C	197.7827	121.2785	1.630814	0.1029
RESID(-1)^2	1.620535	0.873041	1.856197	0.0634
RESID(-2)^2	0.601178	0.349922	1.718033	0.0858
T-DIST. DOF	3.067930	0.951365	3.224766	0.0013
R-squared	0.100625	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.081985	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	46.79162	Akaike info criterion		9.690523
Sum squared resid	422565.0	Schwarz criterion		9.839990
Log likelihood	-950.3618	Hannan-Quinn criter.		9.751022
Durbin-Watson stat	1.833042			
Inverted AR Roots	.84-.24i	.84+.24i	.58+.65i	.58-.65i
	.14+.84i	.14-.84i	-.34+.77i	-.34-.77i
	-.70-.46i	-.70+.46i	-.84	

Рисунок 6. Результаты построения ARCH-модели 2 порядка, распределение Стьюдента.

Некоторые коэффициенты (ar(3), ar(5)) снова статистически не значимы.

Проведение анализа белого шума для модели со статистически незначимыми коэффициентами смысла не несет.

Аналогичная ситуация с GED-распределением.

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Generalized error distribution (GED)
Date: 04/16/17 Time: 19:19
Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
Included observations: 198 after adjustments
Failure to improve Likelihood after 34 iterations
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
GARCH = C(6) + C(7)*RESID(-1)^2 + C(8)*RESID(-2)^2

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	2.535668	1.079440	2.349058	0.0188
AR(1)	0.166016	0.055591	2.986367	0.0028
AR(3)	-0.013443	0.035528	-0.378366	0.7052
AR(5)	0.040339	0.015451	2.610733	0.0090
AR(11)	-0.026351	0.033043	-0.797488	0.4252
Variance Equation				
C	242.3686	88.77834	2.730042	0.0063
RESID(-1)^2	1.142909	0.515066	2.218954	0.0265
RESID(-2)^2	0.504131	0.237752	2.120406	0.0340
GED PARAMETER	0.838492	0.118199	7.093882	0.0000
R-squared	0.085300	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.066342	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	47.18860	Akaike info criterion		9.675434
Sum squared resid	429765.4	Schwarz criterion		9.824901
Log likelihood	-948.8680	Hannan-Quinn criter.		9.735933
Durbin-Watson stat	1.755473			
Inverted AR Roots	.71+.19i	.71-.19i	.47+.55i	.47-.55i
	.13-.72i	.13+.72i	-.29+.64i	-.29-.64i
	-.60-.40i	-.60+.40i	-.69	

Рисунок 7. Результаты построения ARCH-модели 2 порядка, GED-распределение.

Некоторые коэффициенты (ar(3), ar(5)) снова статистически не значимы.

Проведение анализа белого шума для модели со статистически незначимыми коэффициентами смысла не несет.

Задача 6

Проверим остатки на наличие чисто GARCH эффектов

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
 Date: 04/16/17 Time: 19:21
 Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
 Included observations: 198 after adjustments
 Convergence achieved after 111 iterations
 Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 GARCH = C(6) + C(7)*GARCH(-1) + C(8)*GARCH(-2)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	4.053896	4.213837	0.962044	0.3360
AR(1)	0.307047	0.035141	8.737484	0.0000
AR(3)	-0.247331	0.041868	-5.907392	0.0000
AR(5)	0.141045	0.065830	2.142569	0.0321
AR(11)	-0.153176	0.071275	-2.149089	0.0316
Variance Equation				
C	398.2561	293.0309	1.359093	0.1741
GARCH(-1)	-0.044502	0.216266	-0.205776	0.8370
GARCH(-2)	0.844291	0.229329	3.681571	0.0002
R-squared	0.182110	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.165159	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	44.62160	Akaike info criterion		10.45698
Sum squared resid	384279.9	Schwarz criterion		10.58984
Log likelihood	-1027.241	Hannan-Quinn criter.		10.51075
Durbin-Watson stat	2.056242			
Inverted AR Roots	.82-.23i	.82+.23i	.57+.68i	.57-.68i
	.21+.83i	.21-.83i	-.32+.72i	-.32-.72i
	-.71+.45i	-.71-.45i	-.82	

Рисунок 8. Результаты построения GARCH-модели 2 порядка, нормальное распределение.

Один из коэффициентов GARCH-модели не значим, так как вероятность ошибки отклонения нулевой гипотезы о значимости модели составляет более 5%.

Проведение анализа белого шума для модели со статистически незначимыми коэффициентами смысла не несет.

Снизим порядок до 1.

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
 Date: 04/16/17 Time: 19:22
 Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
 Included observations: 198 after adjustments
 Convergence achieved after 81 iterations
 Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 GARCH = C(6) + C(7)*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	3.885734	4.148066	0.936758	0.3489
AR(1)	0.307273	0.032027	9.594143	0.0000
AR(3)	-0.245500	0.039220	-6.259608	0.0000
AR(5)	0.137446	0.064200	2.140893	0.0323
AR(11)	-0.151971	0.071054	-2.138829	0.0324
Variance Equation				
C	208.9244	155.6978	1.341858	0.1796
GARCH(-1)	0.895142	0.086466	10.35257	0.0000
R-squared	0.181932	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.164977	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	44.62647	Akaike info criterion		10.44362
Sum squared resid	384363.7	Schwarz criterion		10.55987
Log likelihood	-1026.918	Hannan-Quinn criter.		10.49067
Durbin-Watson stat	2.056161			
Inverted AR Roots	.82-.23i	.82+.23i	.57+.68i	.57-.68i
	.21+.83i	.21-.83i	-.32+.72i	-.32-.72i
	-.71-.45i	-.71+.45i	-.82	

Рисунок 9. Результаты построения GARCH-модели 1 порядка, нормальное распределение.

Модель улучшилась, все коэффициенты значимы. Проведем анализ белого шума.

Тест на нормальность не выполняется (рисунок 10):

- коэффициент несмещенности не близок к нулю (1,32)
- коэффициент эксцесса не близок к трём (12,6);
- вероятность P меньше 5% (0%).

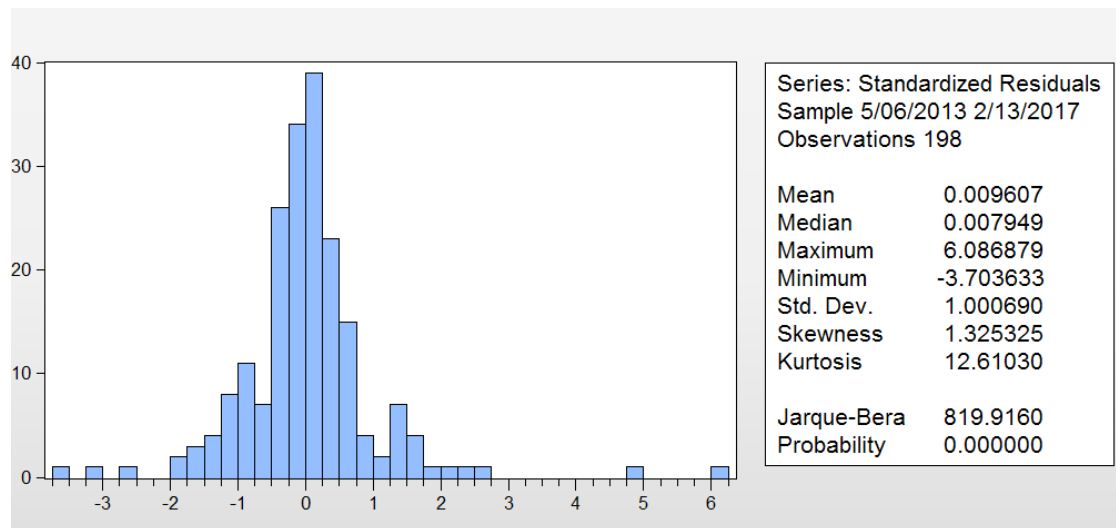


Рисунок 10. Результаты теста на нормальность модели

Тест на нормальность не выполняется:

- коэффициент несмещенности не близок к нулю (1,32)
- коэффициент эксцесса не близок к трём (12,6);
- вероятность P меньше 5% (0%).

Попробуем улучшить модель, возьмем распределение Стьюдента.

Распределение Стьюдента.

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Student's t distribution
 Date: 04/16/17 Time: 19:26
 Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
 Included observations: 198 after adjustments
 Convergence achieved after 365 iterations
 Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 GARCH = C(6) + C(7)*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	2.350262	2.221612	1.057909	0.2901
AR(1)	0.298492	0.045131	6.613879	0.0000
AR(3)	-0.058723	0.039560	-1.484421	0.1377
AR(5)	0.080127	0.031905	2.511444	0.0120
AR(11)	-0.126239	0.034309	-3.679462	0.0002
Variance Equation				
C	11565.51	1072475.	0.010784	0.9914
GARCH(-1)	0.940525	0.043657	21.54362	0.0000
T-DIST. DOF	2.004156	0.386788	5.181533	0.0000
R-squared	0.137266	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.119386	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	45.82854	Akaike info criterion		9.950489
Sum squared resid	405349.3	Schwarz criterion		10.08335
Log likelihood	-977.0984	Hannan-Quinn criter.		10.00427
Durbin-Watson stat	2.041661			
Inverted AR Roots	.83-.22i	.83+.22i	.56+.64i	.56-.64i
	.17+.82i	.17-.82i	-.32+.73i	-.32-.73i
	-.68-.45i	-.68+.45i	-.80	

Рисунок 11. Результаты построения GARCH-модели 1 порядка, распределение Стьюдента.

Коэффициент ar(3) статистически не значим.

Проведение анализа белого шума для модели со статистически незначимыми коэффициентами смысла не несет.

Возьмем GED распределение.

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)				
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Generalized error distribution (GED)				
Date: 04/16/17 Time: 19:28				
Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017				
Included observations: 198 after adjustments				
Failure to improve Likelihood after 25 iterations				
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)				
GARCH = C(6) + C(7)*GARCH(-1)				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	2.261315	0.719302	3.143762	0.0017
AR(1)	0.087486	0.029070	3.009533	0.0026
AR(3)	-0.064606	0.024291	-2.659686	0.0078
AR(5)	0.154220	0.024243	6.361284	0.0000
AR(11)	-0.125838	0.023953	-5.253636	0.0000
Variance Equation				
C	3704.626	764.1191	4.848231	0.0000
GARCH(-1)	-0.951044	0.033116	-28.71862	0.0000
GED PARAMETER	0.650588	0.067386	9.654648	0.0000
R-squared	0.099962	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.081309	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	46.80886	Akaike info criterion		9.964643
Sum squared resid	422876.3	Schwarz criterion		10.09750
Log likelihood	-978.4997	Hannan-Quinn criter.		10.01842
Durbin-Watson stat	1.615212			
Inverted AR Roots	.81+.21i	.81-.21i	.52-.64i	.52+.64i
	.16-.83i	.16+.83i	-.34+.72i	-.34-.72i
	-.71-.46i	-.71+.46i	-.80	

Рисунок 12. Результаты построения GARCH-модели 1 порядка, распределение GED.

Все значимо, но прогнозная способность низкая. Проведем анализ белого шума для модели.

Тест на нормальность (рисунок 13) не выполняется:

- коэффициент несмещенности не близок к нулю (1,91)
- коэффициент эксцесса близок к трём (20);
- вероятность P меньше 5% (0%).

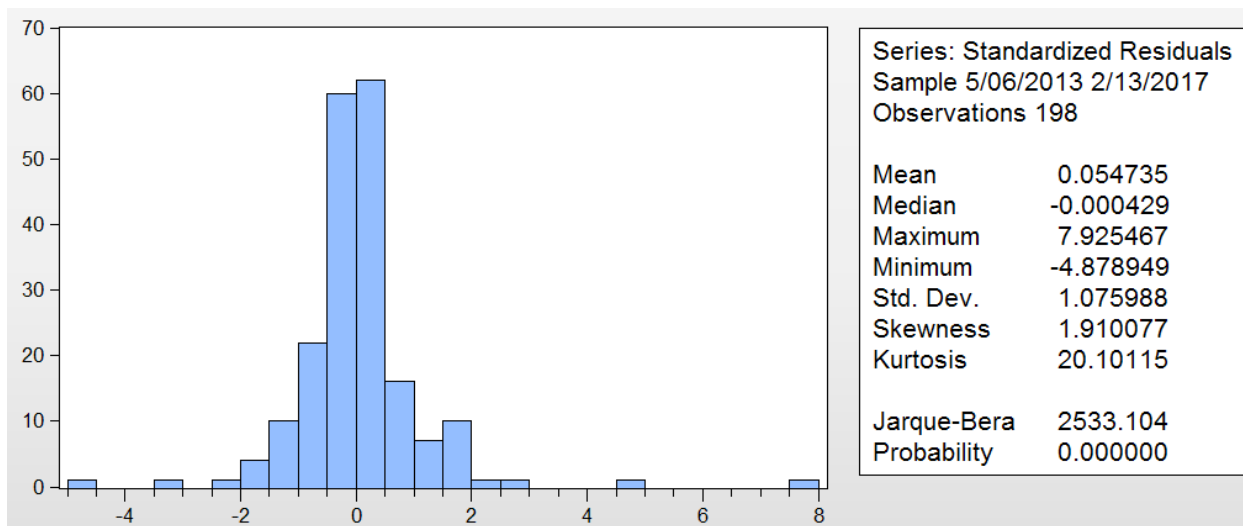


Рисунок 13. Результаты теста на нормальность модели

Перебирая распределения и возмущая параметры GARCH/ARCH, было получено, что лучший выбор (относительно высокая прогнозная способность, значимость коэффициентов и, самое главное, нормальное распределение в остатках) параметров GARCH и ARCH соответственно 2 и 1 и GED-распределение с фиксированным показателем, равным 6 (рисунок 17).

Тест на нормальность (рисунок 15) выполняется:

- коэффициент несмещенности близок к нулю (0,2)
- коэффициент эксцесса близок к трём (3,6);
- вероятность P больше 5% (10%).

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Generalized error distribution (GED)
Date: 04/16/17 Time: 19:35
Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
Included observations: 198 after adjustments
Failure to improve Likelihood after 29 iterations
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
GED parameter fixed at 6
GARCH = C(6) + C(7)*RESID(-1)^2 + C(8)*RESID(-2)^2 + C(9)*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	3.539416	3.074608	1.151176	0.2497
AR(1)	0.321177	0.032264	9.954727	0.0000
AR(3)	-0.167597	0.056134	-2.985655	0.0028
AR(5)	0.256230	0.032512	7.881202	0.0000
AR(11)	-0.189781	0.042755	-4.438808	0.0000
Variance Equation				
C	898.9551	74.71109	12.03242	0.0000
RESID(-1)^2	0.285322	0.080264	3.554805	0.0004
RESID(-2)^2	1.144239	0.128471	8.906600	0.0000
GARCH(-1)	-0.089906	0.029529	-3.044692	0.0023
R-squared	0.161749	Mean dependent var	4.567475	
Adjusted R-squared	0.144376	S.D. dependent var	48.83636	
S.E. of regression	45.17361	Akaike info criterion	10.27101	
Sum squared resid	393846.5	Schwarz criterion	10.42048	
Log likelihood	-1007.830	Hannan-Quinn criter.	10.33151	
Durbin-Watson stat	2.117908			
Inverted AR Roots	.86+.21i	.86-.21i	.55-.69i	.55+.69i
	.22-.86i	.22+.86i	-.33-.73i	-.33+.73i
	-.73+.48i	-.73-.48i	-.82	

Рисунок 14. Результаты построения ARCH/GARCH-модели порядка (2,1), распределение GED с фиксированным параметром 6.

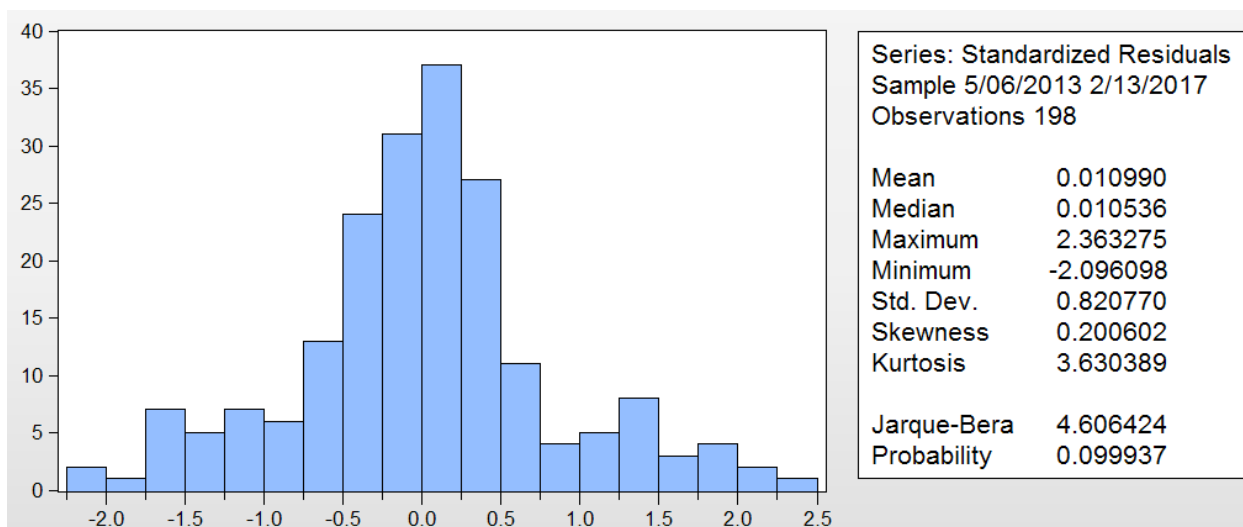


Рисунок 15. Результаты теста на нормальность модели

Следующим этапом является построение моделей условной гетероскедастичности с асимметричной составляющей TARЧН/Е-GARCH.

Для этого сохраним остатки, полученные после построения обычной GARCH модели, как отдельный ряд и привести их к стандартизованному виду.

Построим кросс-коррелограмму между стандартизованными остатками и ими же возведенными в квадрат (рисунок 16).

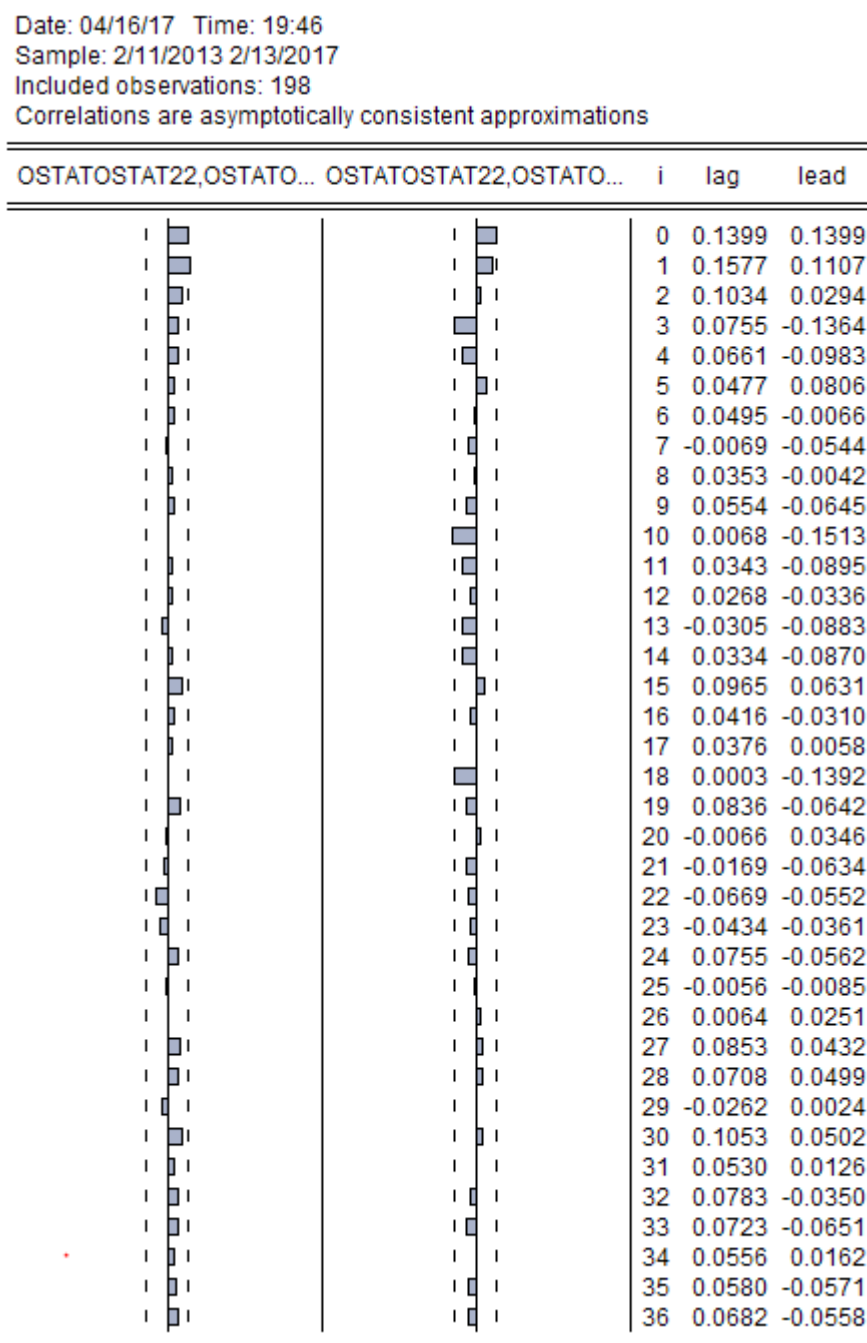


Рисунок 16: Кросс-коррелограмма

Можно предположить, что ассиметричная составляющая в модели EGARCH/TARCH равна 3.

Попробуем улучшить последнюю модель за счет учета ассиметричной составляющей.

Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT)
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Generalized error distribution (GED)
Date: 04/17/17 Time: 14:46
Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017
Included observations: 198 after adjustments
Convergence achieved after 107 iterations
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
GED parameter fixed at 6
LOG(GARCH) = C(6) + C(7)*ABS(RESID(-1))/@SQRT(GARCH(-1))) + C(8)
*ABS(RESID(-2))/@SQRT(GARCH(-2))) + C(9)*RESID(-1)
/@SQRT(GARCH(-1)) + C(10)*RESID(-2))/@SQRT(GARCH(-2)) + C(11)
*RESID(-3))/@SQRT(GARCH(-3)) + C(12)*LOG(GARCH(-1))

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	3.247338	1.185901	2.738288	0.0062
AR(1)	0.176017	0.090799	1.938542	0.0526
AR(3)	-0.174377	0.055315	-3.152468	0.0016
AR(5)	-0.190622	0.057177	-3.333886	0.0009
AR(11)	-0.048951	0.040676	-1.203440	0.2288

Variance Equation				
C(6)	-0.169348	0.283748	-0.596824	0.5506
C(7)	1.243734	0.149284	8.331310	0.0000
C(8)	-0.039632	0.170732	-0.232129	0.8164
C(9)	0.422398	0.093732	4.506423	0.0000
C(10)	-0.152560	0.144576	-1.055226	0.2913
C(11)	0.221527	0.118263	1.873176	0.0610
C(12)	0.918751	0.033902	27.09996	0.0000

R-squared	0.051270	Mean dependent var	4.567475
Adjusted R-squared	0.031607	S.D. dependent var	48.83636
S.E. of regression	48.05838	Akaike info criterion	9.919461
Sum squared resid	445754.3	Schwarz criterion	10.11875
Log likelihood	-970.0266	Hannan-Quinn criter.	10.00013
Durbin-Watson stat	1.682330		

Рисунок 17: Результаты оценки модели EGARCH(2, 1, 3), распределение GED с фиксированным параметром 6.

Учет ассиметричной составляющей ухудшил модель: некоторые коэффициенты ARMA и EGARCH моделей статистически не значимы, прогнозная способность (показатель R^2) уменьшилась. Тест на нормальность по-прежнему выполняется (Рисунок 18).

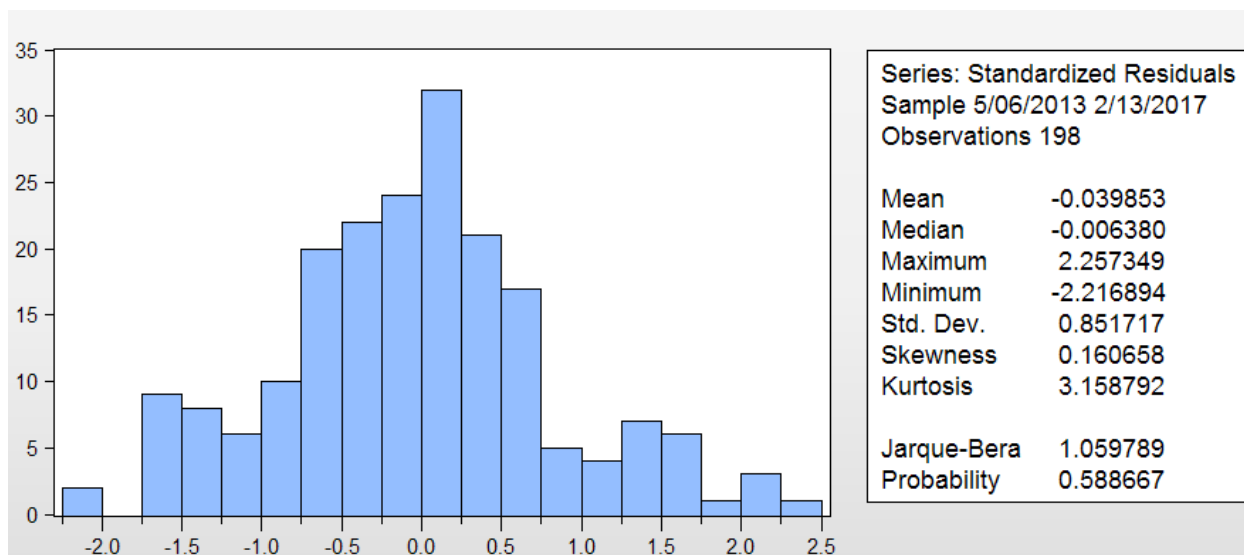


Рисунок 18: Результаты теста на нормальность модели.

Подбор других распределений не улучшает модель (рисунок 19) (согласно схожим рассуждениям).

