

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Общенаучный факультет

Кафедра математики

Отчет по лабораторной работе № 1

Тема «Определение типа случайного процесса 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:** Определить, какому типу случайных процессов относится временной ряд курса Биткоина для дальнейшего его моделирования.

### **Постановка задач**

1. Описать исходные данные, проанализировать данные визуально.
2. На основе анализа коррелограмм АКФ и ЧАКФ сделать предположение о типе процесса, представленного временным рядом.
3. С помощью расширенного теста Дики-Фуллера провести идентификацию случайного процесса, применяя процедуру Доладо-Дженкенсона-Сосвила-Риверо.
4. Сделать заключение о типе процесса.

## Ход работы

### Задача №1.

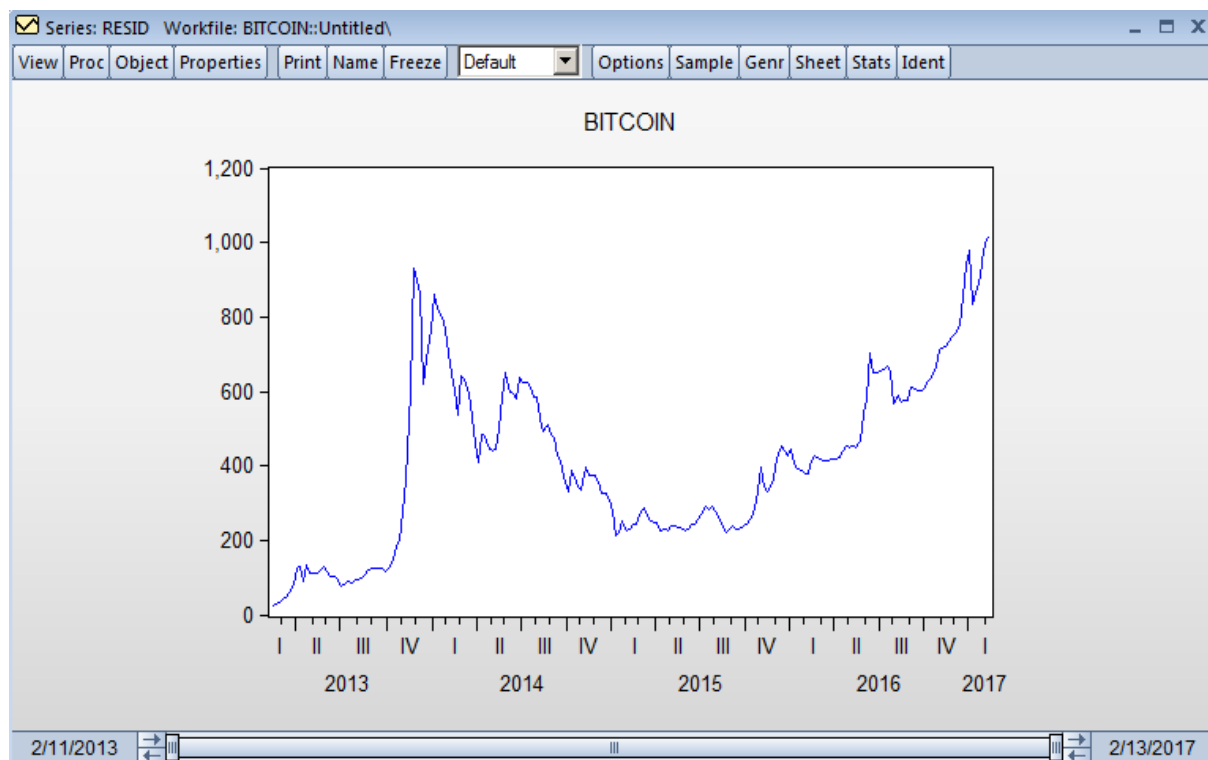
Исходными данными является временной ряд курса биткоина (еженедельно).

Источник информации – пункт «Weighted Price» торговой площадки «Bitstamp» (Республика Словения) раздела «Charts» сайта мониторинга курса биткоина bitcoin charts (<http://bitcoincharts.com>, связан с <https://bitcoin.org>, который управляется основными биткоин-разработчиками).

Период ретроспективы – 209 недель (с 11 февраля 2013 года по 13 февраля 2017 года).

Прогнозирование курсов валют необходимо для оценки рисков операций предприятий, связанных с обменом валют.

График изменения курса криптовалюты представлен на рисунке 1.



*Рис. 1. График временного ряда курса биткоина.*

Анализ графика, на основе роста курса в конце каждого года, даёт возможность предположить наличие слабой сезонности. С другой стороны, это предположение опрометчиво: в конце 2013 года была закрыта большая

торговая площадка (в основном по продаже наркотиков) Silk Road, которая использовала данную криптовалюту. Этот инцидент мог значительно сказаться на курсе. Далее, в июне 2014 правительство США выставило на аукцион большую сумму изъятых биткоинов, что, возможно, позволило обеспечить рост на короткий период. 2014 можно назвать годом упрочнение имиджа валюты (деньги не только для преступников), что, возможно, обеспечивает относительно плавное поведение с начала 2015 года.

Т.о. о наличии сезонности можно говорить только на основе данных 2015-2016 годов.

На основе тех же сведений можно сделать вывод об отсутствии тренда.

## 2 задача.

Проводим анализ коррелограмм.

Date: 03/04/17 Time: 13:56  
Sample: 2/11/2013 2/13/2017  
Included observations: 210

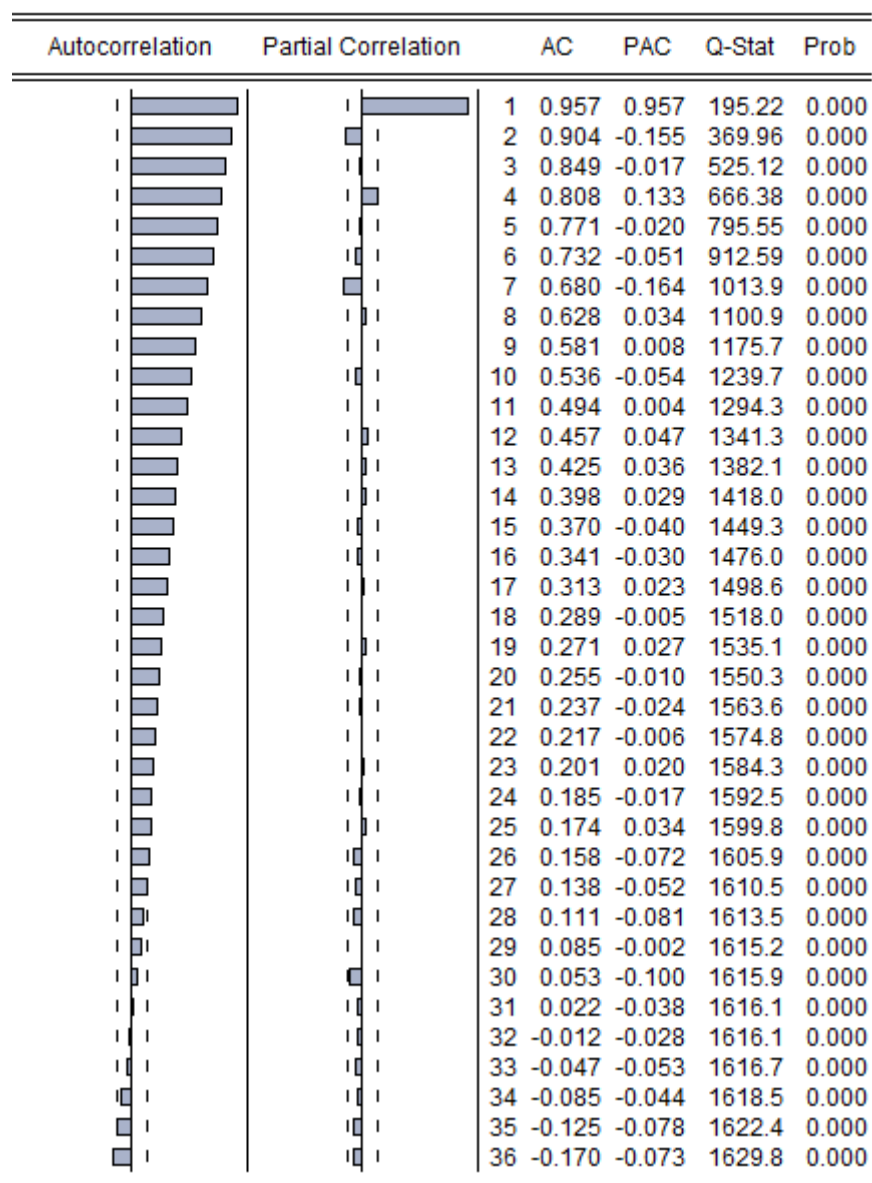


Рис. 2. Коррелограмма для исходного ряда.

Из коррелограммы АКФ можно сделать вывод об отсутствии стационарности, т.к. ряд медленно убывает.

Из коррелограммы ЧАКФ можно сделать вывод о наличии сезонности.

Можно предположить, что это процесс DS.

Date: 03/04/17 Time: 13:56  
Sample: 2/11/2013 2/13/2017  
Included observations: 209

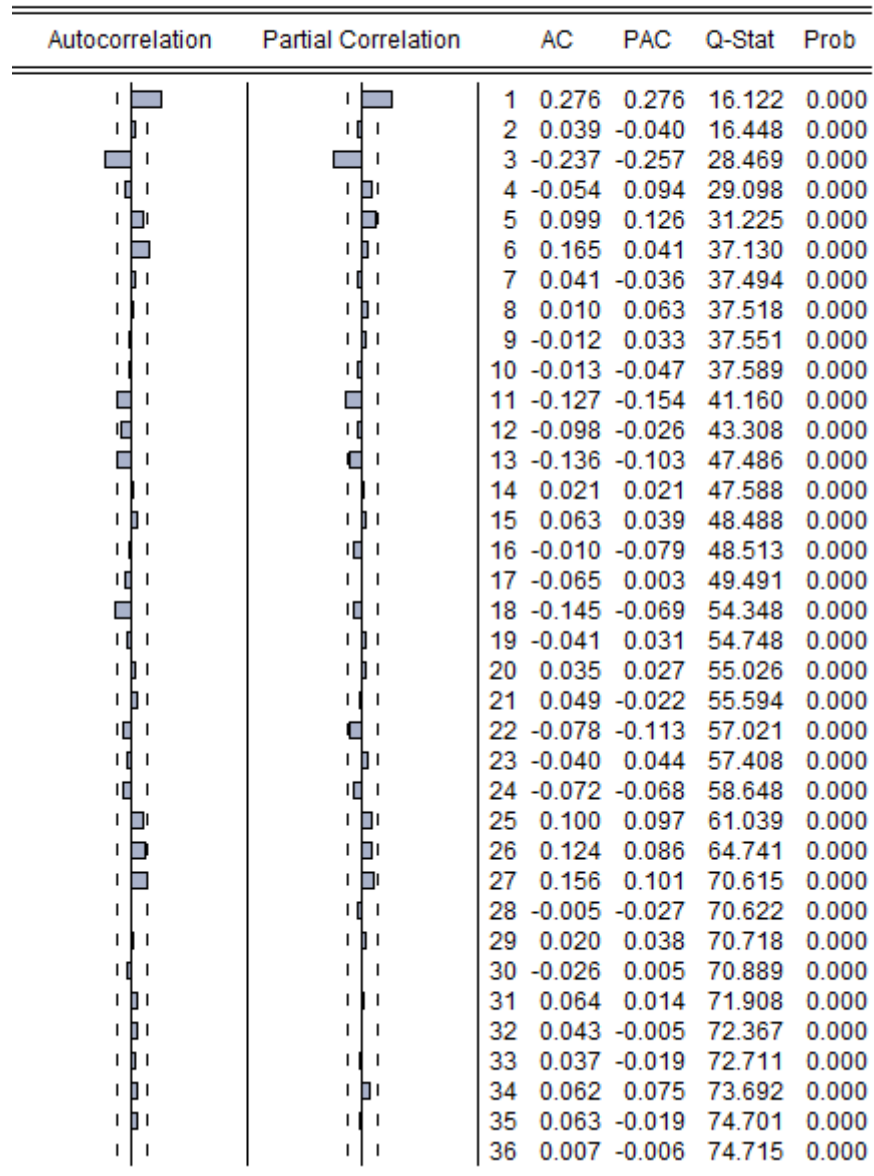


Рис. 2. Коррелограмма для ряда первых разностей.

Коррелограмма для ряда первых разностей подтверждает наличие сезонности у исходного ряда.

Date: 03/04/17 Time: 13:55  
Sample: 2/11/2013 2/13/2017  
Included observations: 208

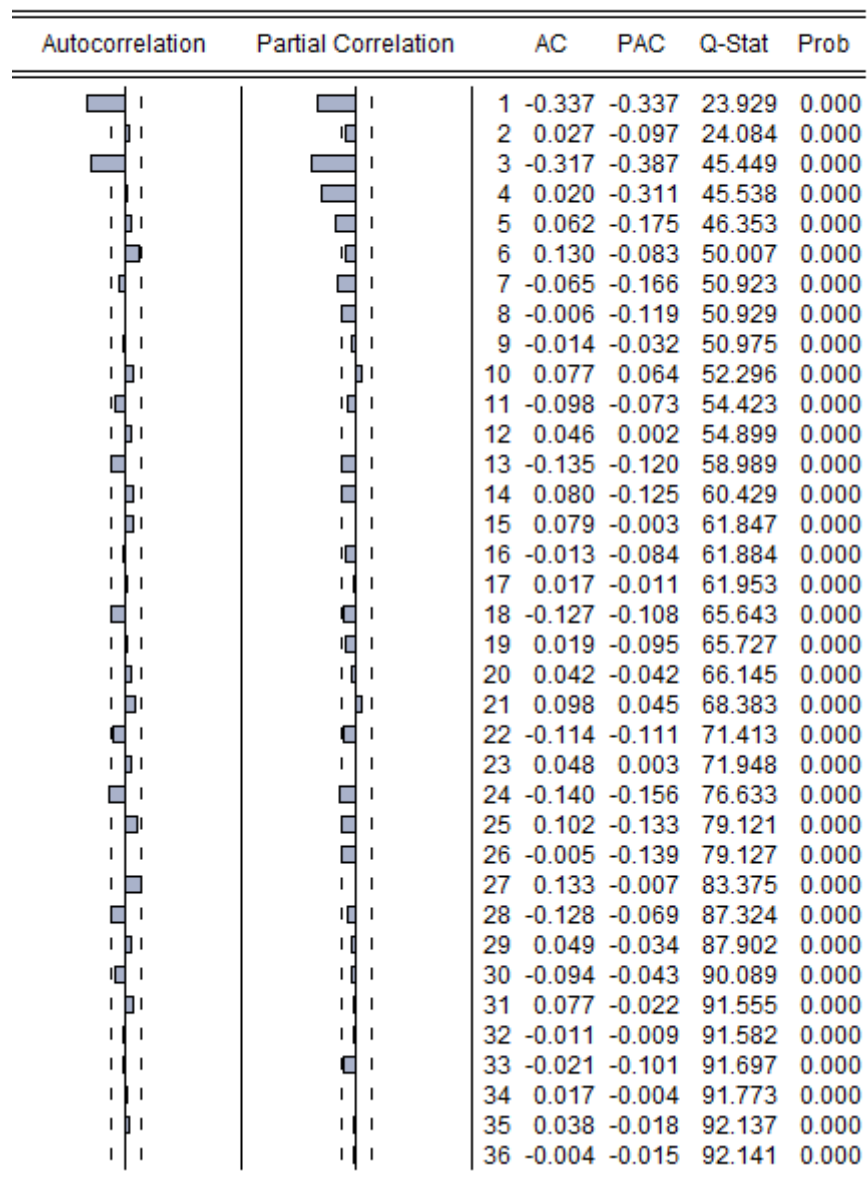


Рис. 3. Коррелограмма для ряда вторых разностей.

Коррелограмма для ряда вторых разностей подтверждает наличие сезонности у исходного ряда (лаги выходят за пределы доверительных интервалов).

На вторых разностях процесс стал стационарным, так как автокорреляционная функция сходится к нулю.

### 3 задача.

Проведение процедуры Доладо-Дженкинсона-Сосвилла-Ривьеро.

#### 1 этап

Тестируется тип процесса TS+DS:

$$\Delta^2 z_t = \rho_0 + \rho_1 \Delta z_{t-1} + \sum_{i=2}^p p_i \Delta^2 z_{t-i+1} + \eta_t + \varepsilon_t$$

Проводим расширенный тест Дики-Фуллера, включая детерминированный тренд на разностях первого порядка.

Null Hypothesis: D(BITCOIN_OBJECT) has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 10 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.1, maxlag=14)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-4.466372	0.0022
Test critical values:	1% level		-4.005076	
	5% level		-3.432682	
	10% level		-3.140127	
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT,2)				
Method: Least Squares				
Date: 03/04/17 Time: 14:06				
Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017				
Included observations: 198 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(BITCOIN_OBJECT(-1))	-0.827388	0.185248	-4.466372	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-1),2)	0.114741	0.178982	0.641074	0.5223
D(BITCOIN_OBJECT(-2),2)	0.188578	0.172472	1.093383	0.2756
D(BITCOIN_OBJECT(-3),2)	-0.092673	0.164624	-0.562937	0.5742
D(BITCOIN_OBJECT(-4),2)	-0.063438	0.155492	-0.407983	0.6838
D(BITCOIN_OBJECT(-5),2)	0.080534	0.147543	0.545837	0.5858
D(BITCOIN_OBJECT(-6),2)	0.173477	0.138544	1.252142	0.2121
D(BITCOIN_OBJECT(-7),2)	0.096247	0.122766	0.783983	0.4341
D(BITCOIN_OBJECT(-8),2)	0.104403	0.102477	1.018800	0.3096
D(BITCOIN_OBJECT(-9),2)	0.171892	0.091705	1.874400	0.0625
D(BITCOIN_OBJECT(-10),2)	0.171961	0.075545	2.276276	0.0240
C	0.393463	6.982959	0.056346	0.9551
@TREND("2/11/2013")	0.029671	0.056235	0.527628	0.5984
R-squared	0.442847	Mean dependent var		0.150303
Adjusted R-squared	0.406707	S.D. dependent var		58.49717
S.E. of regression	45.05773	Akaike info criterion		10.51717
Sum squared resid	375586.8	Schwarz criterion		10.73306
Log likelihood	-1028.200	Hannan-Quinn criter.		10.60456
F-statistic	12.25377	Durbin-Watson stat		2.008344
Prob(F-statistic)	0.000000			

Рис. 4. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фуллера.

Тест не выполнен. Тренд и константа статистически незначимы (вероятность отклонения нулевой гипотезы 0,59 и 0,95 соответственно при 5% уровне значимости). **Возможно процесс типа DS.**

## 2 этап

Тестируется типа процесса TS:  $\Delta z_t = \rho_0 + \rho_1 z_{t-1} + \sum_{i=2}^p p_i \Delta z_{t-i+1} + \eta t + \varepsilon_t$

Проводим расширенный тест Дики-Фуллера на исходном уровне, но включаем тренд.

Null Hypothesis: BITCOIN\_OBJECT has a unit root  
Exogenous: Constant, Linear Trend  
Lag Length: 11 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.1, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.620335	0.7817
Test critical values:		
1% level	-4.005076	
5% level	-3.432682	
10% level	-3.140127	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(BITCOIN\_OBJECT)  
Method: Least Squares  
Date: 03/04/17 Time: 14:08  
Sample (adjusted): 5/06/2013 2/13/2017  
Included observations: 198 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
BITCOIN_OBJECT(-1)	-0.030246	0.018667	-1.620335	0.1069
D(BITCOIN_OBJECT(-1))	0.300653	0.072569	4.143017	0.0001
D(BITCOIN_OBJECT(-2))	0.089982	0.075284	1.195223	0.2335
D(BITCOIN_OBJECT(-3))	-0.262062	0.075372	-3.476908	0.0006
D(BITCOIN_OBJECT(-4))	0.044109	0.077826	0.566771	0.5716
D(BITCOIN_OBJECT(-5))	0.155034	0.077871	1.990920	0.0480
D(BITCOIN_OBJECT(-6))	0.111537	0.081708	1.365056	0.1739
D(BITCOIN_OBJECT(-7))	-0.055421	0.081577	-0.679374	0.4978
D(BITCOIN_OBJECT(-8))	0.026817	0.082289	0.325892	0.7449
D(BITCOIN_OBJECT(-9))	0.080803	0.079003	1.022785	0.3078
D(BITCOIN_OBJECT(-10))	0.016654	0.079088	0.210575	0.8335
D(BITCOIN_OBJECT(-11))	-0.150640	0.076358	-1.972831	0.0500
C	7.368547	8.177262	0.901102	0.3687
@TREND("2/11/2013")	0.077442	0.063278	1.223846	0.2226
R-squared	0.211858	Mean dependent var		4.567475
Adjusted R-squared	0.156174	S.D. dependent var		48.83636
S.E. of regression	44.86108	Akaike info criterion		10.51310
Sum squared resid	370303.0	Schwarz criterion		10.74560
Log likelihood	-1026.797	Hannan-Quinn criter.		10.60721
F-statistic	3.804650	Durbin-Watson stat		2.002536
Prob(F-statistic)	0.000020			

Рис. 5. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фуллера.

Тест не выполнен. Тренд статистически незначим, следовательно, TS незначимо. Не целесообразно включение константы. (для тренда и константы вероятность отклонения нулевой гипотезы 0,22 и 0,36 соответственно при 5% уровне значимости).

**Предположение о типе процесса DS подтверждается.**

### 3 этап

Тестируется тип процесса DS (I(2)):  $\Delta^3 z_t = \rho_0 + \rho_1 \Delta^2 z_{t-1} + \sum_{i=2}^p \rho_i \Delta^3 z_{t-i+1} + \varepsilon_t$

Проводим расширенный тест Дики-Фуллера на разностях второго порядка без включения тренда.

Null Hypothesis: D(BITCOIN_OBJECT,2) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 6 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.1, maxlag=6)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-9.349368	0.0000
Test critical values:	1% level		-2.576518	
	5% level		-1.942415	
	10% level		-1.615649	
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT,3)				
Method: Least Squares				
Date: 03/04/17 Time: 14:13				
Sample (adjusted): 4/15/2013 2/13/2017				
Included observations: 201 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(BITCOIN_OBJECT(-1),2)	-3.973612	0.425014	-9.349368	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-1),3)	2.362448	0.389138	6.070983	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-2),3)	1.884650	0.334891	5.627650	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-3),3)	1.194752	0.270112	4.423176	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-4),3)	0.651944	0.199383	3.269813	0.0013
D(BITCOIN_OBJECT(-5),3)	0.351895	0.138061	2.548836	0.0116
D(BITCOIN_OBJECT(-6),3)	0.172796	0.074116	2.331415	0.0208
R-squared	0.764475	Mean dependent var		0.088806
Adjusted R-squared	0.757190	S.D. dependent var		95.86633
S.E. of regression	47.23882	Akaike info criterion		10.58251
Sum squared resid	432912.2	Schwarz criterion		10.69755
Log likelihood	-1056.543	Hannan-Quinn criter.		10.62906
Durbin-Watson stat	2.038260			

Рис. 6. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фуллера.

Тест выполнен. Вероятность отклонения нулевой гипотезы о незначимости модели меньше допустимой нормы. Протестируем процесс DS (I(2)) с константой.

Null Hypothesis: D(BITCOIN_OBJECT,2) has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 13 (Automatic - based on t-statistic, lagpval=0.1, maxlag=14)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-5.939857	0.0000
Test critical values:	1% level		-4.006059	
	5% level		-3.433156	
	10% level		-3.140406	
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(BITCOIN_OBJECT,3)				
Method: Least Squares				
Date: 03/04/17 Time: 14:09				
Sample (adjusted): 6/03/2013 2/13/2017				
Included observations: 194 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(BITCOIN_OBJECT(-1),2)	-5.790568	0.974867	-5.939857	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-1),3)	4.156654	0.948198	4.383740	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-2),3)	3.651384	0.910314	4.011127	0.0001
D(BITCOIN_OBJECT(-3),3)	2.913389	0.862940	3.376121	0.0009
D(BITCOIN_OBJECT(-4),3)	2.289498	0.804451	2.846037	0.0049
D(BITCOIN_OBJECT(-5),3)	1.873437	0.734642	2.550137	0.0116
D(BITCOIN_OBJECT(-6),3)	1.577514	0.656313	2.403599	0.0173
D(BITCOIN_OBJECT(-7),3)	1.255710	0.573781	2.188485	0.0299
D(BITCOIN_OBJECT(-8),3)	1.009944	0.487922	2.069890	0.0399
D(BITCOIN_OBJECT(-9),3)	0.859937	0.395875	2.172242	0.0312
D(BITCOIN_OBJECT(-10),3)	0.715739	0.301404	2.374685	0.0186
D(BITCOIN_OBJECT(-11),3)	0.482271	0.215660	2.236253	0.0266
D(BITCOIN_OBJECT(-12),3)	0.341999	0.145872	2.344520	0.0202
D(BITCOIN_OBJECT(-13),3)	0.131866	0.077346	1.704888	0.0900
C	-1.303014	7.643906	-0.170464	0.8648
@TREND("2/11/2013")	0.015955	0.060882	0.262059	0.7936
R-squared	0.776911	Mean dependent var		-0.083814
Adjusted R-squared	0.758112	S.D. dependent var		96.35914
S.E. of regression	47.39150	Akaike info criterion		10.63364
Sum squared resid	399779.8	Schwarz criterion		10.90315
Log likelihood	-1015.463	Hannan-Quinn criter.		10.74277
F-statistic	41.32590	Durbin-Watson stat		1.998549
Prob(F-statistic)	0.000000			

Рис. 7. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фулера.

Включение константы не целесообразно в силу того, что вероятность отклонения нулевой гипотезы о незначимости модели выше (0,86) допущенного при 5% уровне значимости.

#### 4 этап

Тестируется тип процесса DS (I(1)):  $\Delta^2 z_t = \rho_0 + \rho_1 \Delta z_{t-1} + \sum_{i=2}^p p_i \Delta^2 z_{t-i+1} + \varepsilon_t$

Null Hypothesis: D(BITCOIN\_OBJECT) has a unit root  
Exogenous: None  
Lag Length: 2 (Automatic - based on AIC, maxlag=2)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.697856	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.576236	
5% level	-1.942376	
10% level	-1.615674	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(BITCOIN\_OBJECT,2)  
Method: Least Squares  
Date: 03/04/17 Time: 14:19  
Sample (adjusted): 3/11/2013 2/13/2017  
Included observations: 206 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(BITCOIN_OBJECT(-1))	-0.930854	0.095986	-9.697856	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-1),2)	0.214599	0.083527	2.569215	0.0109
D(BITCOIN_OBJECT(-2),2)	0.253129	0.068293	3.706508	0.0003
R-squared	0.399998	Mean dependent var		-0.001893
Adjusted R-squared	0.394086	S.D. dependent var		57.97577
S.E. of regression	45.12861	Akaike info criterion		10.47137
Sum squared resid	413428.0	Schwarz criterion		10.51983
Log likelihood	-1075.551	Hannan-Quinn criter.		10.49097
Durbin-Watson stat	1.949039			

Рис. 8. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фулера.

Тест выполняется. Вероятность отклонения нулевой гипотезы о незначимости модели меньше допустимой нормы (0,05).

Null Hypothesis: D(BITCOIN\_OBJECT) has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 2 (Automatic - based on AIC, maxlag=2)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.817789	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.462095	
5% level	-2.875398	
10% level	-2.574234	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(BITCOIN\_OBJECT,2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/04/17 Time: 14:21  
 Sample (adjusted): 3/11/2013 2/13/2017  
 Included observations: 206 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(BITCOIN_OBJECT(-1))	-0.949414	0.096703	-9.817789	0.0000
D(BITCOIN_OBJECT(-1),2)	0.225919	0.083739	2.697889	0.0076
D(BITCOIN_OBJECT(-2),2)	0.259585	0.068299	3.800714	0.0002
C	4.385513	3.167854	1.384380	0.1678
R-squared	0.405637	Mean dependent var		-0.001893
Adjusted R-squared	0.396810	S.D. dependent var		57.97577
S.E. of regression	45.02708	Akaike info criterion		10.47163
Sum squared resid	409542.4	Schwarz criterion		10.53625
Log likelihood	-1074.578	Hannan-Quinn criter.		10.49777
F-statistic	45.95319	Durbin-Watson stat		1.951727
Prob(F-statistic)	0.000000			

Рис. 9. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фулера.

Включение константы не целесообразно. Вероятность отклонения нулевой гипотезы о незначимости модели  $0,16 > 0,05$ .

## 5 этап

Тестируется тип процесса DS (I(0)):  $\Delta z_t = \rho_0 + \rho_1 z_{t-1} + \sum_{i=2}^p p_i \Delta z_{t-i+1} + \varepsilon_t$

Null Hypothesis: BITCOIN\_OBJECT has a unit root  
Exogenous: None  
Lag Length: 1 (Automatic - based on AIC, maxlag=2)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.208519	0.7459
Test critical values: 1% level	-2.576127	
5% level	-1.942361	
10% level	-1.615684	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(BITCOIN\_OBJECT)  
Method: Least Squares  
Date: 03/04/17 Time: 14:22  
Sample (adjusted): 2/25/2013 2/13/2017  
Included observations: 208 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
BITCOIN_OBJECT(-1)	0.001432	0.006868	0.208519	0.8350
D(BITCOIN_OBJECT(-1))	0.280595	0.067678	4.146035	0.0000
R-squared	0.071084	Mean dependent var		4.754327
Adjusted R-squared	0.066575	S.D. dependent var		47.93950
S.E. of regression	46.31624	Akaike info criterion		10.51843
Sum squared resid	441909.9	Schwarz criterion		10.55052
Log likelihood	-1091.917	Hannan-Quinn criter.		10.53141
Durbin-Watson stat	1.979548			

Рис. 10. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фулера.

Тест не выполняется. Следовательно, гипотеза о том, что это стационарный процесс, не подтверждается.

**Гипотеза о том, что это стационарный процесс не подтверждается.**

Тестируется тип процесса DS (I(0)) с константой.

Null Hypothesis: BITCOIN\_OBJECT has a unit root  
Exogenous: Constant  
Lag Length: 1 (Automatic - based on AIC, maxlag=2)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.486786	0.5385
Test critical values:		
1% level	-3.461783	
5% level	-2.875262	
10% level	-2.574161	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(BITCOIN\_OBJECT)  
Method: Least Squares  
Date: 03/04/17 Time: 14:24  
Sample (adjusted): 2/25/2013 2/13/2017  
Included observations: 208 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
BITCOIN_OBJECT(-1)	-0.020740	0.013949	-1.486786	0.1386
D(BITCOIN_OBJECT(-1))	0.290687	0.067527	4.304747	0.0000
C	11.94838	6.554829	1.822837	0.0698
R-squared	0.085900	Mean dependent var		4.754327
Adjusted R-squared	0.076982	S.D. dependent var		47.93950
S.E. of regression	46.05731	Akaike info criterion		10.51197
Sum squared resid	434861.5	Schwarz criterion		10.56011
Log likelihood	-1090.245	Hannan-Quinn criter.		10.53143
F-statistic	9.632161	Durbin-Watson stat		1.986681
Prob(F-statistic)	0.000100			

Рис. 11. Результаты оценки расширенного теста Дики-Фулера.

Константа статистически не значима, т.к. вероятность ошибки отклонения нулевой гипотезы о незначимости модели составляет более 5%.

#### 4 задача (вывод).

#### Закключение о типе процесса.

*Таблица 1. Результаты выполнения тестов.*

Тест	1 тест	2 тест	3 тест		4 тест		5 тест	
			тест	модиф.	тест	модиф.	тест	модиф.
Результат	-	-	+	-	+	-	-	-

Из результатов тестов следует, что исследуемый процесс является процессом  $DS(I(1))$ , включение константы не целесообразно.