

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА СПЕКУЛЯТИВНЫХ ПУЗЫРЕЙ НА РЫНКЕ КРИПТОВАЛЮТ

Т. В. Голод

Белорусский государственный университет, г. Минск;

e-mail: tiholad@gmail.com;

науч. рук.: Малюгин В.И., канд. физ.-мат. наук, доц.

Ключевые слова: рынок биткоин, спекулятивные пузыри; тесты «взрывного поведения» курсов активов; модель MS-GARCH.

В статье решается задача выявления спекулятивных пузырей (*speculative bubbles*) [1] на рынке криптовалют с использованием моделей с переключениями состояний [3] для временного ряда доходности и статистических тестов «взрывного поведения» (*explosive behaviors*) курсов финансовых активов [2]. Для описания дневной доходности криптовалюты Биткоин в условиях характерной для рынка циклической смены классов состояний «спада» и «подъема» волатильности доходности используется модель обобщенной условной гетероскедастичности с марковскими переключениями состояний MS-GARCH (*Markov-Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedastic model*) [4]. Алгоритм обнаружения спекулятивного пузыря основывается на выявлении периодов «взрывного» поведения курса биткоина при росте волатильности рынка с помощью статистического теста GSADF (*Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller*) [2].

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается стремительный рост рынка криптовалют. Благодаря этому возникают большие возможности для создания алгоритмических торговых стратегий, основанных на использовании эконометрических моделей и методов анализа, реализуемых с помощью «программ-роботов», работающих в режиме регулярного обновления данных высокой частоты. Использование таких стратегий вместо «ручных» является общемировым трендом и позволяет получать преимущество в виде значительно большей доходности [5]. Наибольшая ожидаемая доходность на рынке криптовалют связана с ранним обнаружением моментов смены состояний рынка «спад» и «подъем», а также «спекулятивных пузырей», т.е. аномально стремительного роста курса криптовалюты.

Рынок Биткоин является доминирующим по объему сделок и капитализации, что объясняет его значительное влияние на иные криптовалютные рынки [6].

В данной работе для обнаружения «спекулятивных пузырей» на рынке Биткоин используется алгоритм, основанный на применении двух «инструментов»: эконометрической модели дисперсии доходности MS-GARCH для оценивания поворотных точек состояний «спад» и «подъем» и статистических тестов «спекулятивных пузырей» GSADF и BSADF, которые используются в состоянии «рост».

МОДЕЛИ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ УСЛОВНОЙ ГЕТЕРОСКЕДАСТИЧНОСТИ С МАРКОВСКИМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМИ

Модель MS-GARCH (*Markov-Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedastic model*) имеет вид [4]:

$$y_t = \sigma_t u_t,$$

$$\sigma_t^2 = w_{s_t} + \alpha_{s_t} y_{t-1}^2 + \beta_{s_t} \sigma_{t-1}^2,$$

где $u_t \sim N(0,1)$, $w_{s_t} > 0$, $\alpha_{s_t} \geq 0$, $\beta_{s_t} \geq 0$, а $\{s_t\}$ – однородная цепь Маркова на пространстве двух классов состояний $\{s_t = 1 - \text{"спад"}, s_t = 2 - \text{"рост"}\}$, с переходными вероятностями $\{\eta_{ij} = P(s_{t-1} = j)\}$ и вероятностями классов $\{\pi_i\}$ ($i, j = 1, 2$).

Для проведения экспериментальных исследований использовался язык программирования R и библиотека MSGARCH. Для временного ряда дневной доходности биткоина в период с 1 января 2017 года и по 13 мая 2022 года была построена следующая модель MS-GARCH:

$$\sigma_t^2 = 0.0957 \xi_{t-1}^2 + 0.8995 \sigma_{t-1}^2, \text{ при } s_t = 1$$

$$\sigma_t^2 = 0.0234 \xi_{t-1}^2 + 0.9756 \sigma_{t-1}^2, \text{ при } s_t = 2$$

По результатам построения модели график вероятности режима $s_t = 2$ имеет вид:

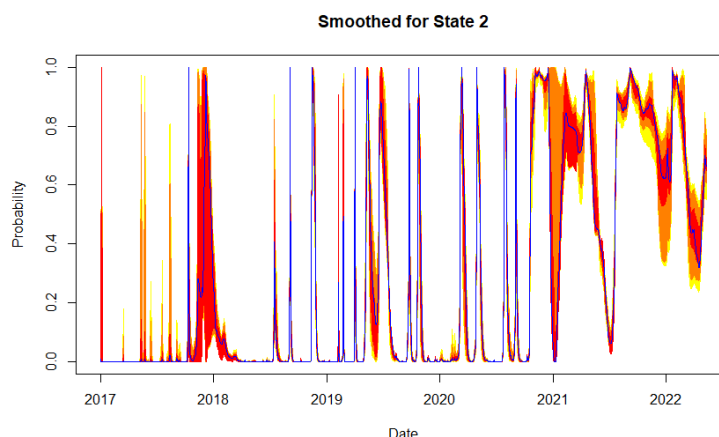


Рис. 1. График вероятности режима $s_t = 2$ в каждый момент времени (синяя линия), доверительный интервал 2 s.e. для вероятности режима $s_t = 2$ (оранжевые области)

На рисунке 1 ось ординат – вероятность принятия в качестве текущего режима $s_t = 2$, синяя линия – наиболее вероятное значение вероятности наличия режима $s_t = 2$ в каждый момент времени, оранжевые области – доверительные интервалы значения вероятности в каждый момент времени, которые были получены по результатам оценивания параметров модели методом Монте-Карло [4].

Второй режим ($s_t = 2$), связанный со всплесками высокой волатильности, наблюдается с ноября 2017 года и по март 2018 года, а также в июне 2019 года и с конца 2020 года и по май 2022 года. Данные периоды ассоциируются с образованием и «схлопыванием» спекулятивного пузыря. Помимо этого, встречаются короткие периоды высокой волатильности, которым соответствуют кратковременные коррекции курса Биткоин. В реальных приложениях для идентификации выделенных временных интервалов высокой волатильности доходности и образования спекулятивного пузыря необходимо специальное тестирования временного ряда курса рассматриваемого актива на предмет «взрывного» поведения.

ТЕСТ «ВЗРЫВНОГО» ПОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ

Для тестирования на наличие «взрывного» поведения рынка, характерного для образования спекулятивного пузыря, используется тест GSADF (*Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller*), чья эффективность оказалась большей в сравнении с альтернативными методами [2].

Нулевая гипотеза H_0 теста GSADF заключается в том, что на рассматриваемом интервале наблюдения отсутствует «взрывное» поведение, альтернатива $H_1: \underline{H_0}$ (отрицание H_0).

Статистика теста вычисляется по формуле

$$GSADF(r_0) = \sup ADF_{r_1}^{r_2}, r_1 \in [0, r_2 - r_0], r_2 \in [r_0, 1],$$

где 0 – начало выборки, 1 – конец выборки на рассматриваемом интервале, r_1 – номер первого наблюдения подвыборки на которой вычисляется правосторонняя статистика ADF, r_2 – номер последнего наблюдения подвыборки, в качестве r_0 берется минимальный номер, позволяющий оценить коэффициенты регрессионного уравнения ADF-теста.

Нулевая гипотеза об отсутствии пузыря отклоняется в том случае, если статистика GSADF больше критического значения $\Delta(\varepsilon)$ на уровне значимости ε :

$$H_0 \text{ не отклоняется, если } GSADF \leq \Delta(\varepsilon),$$

$$H_0 \text{ отклоняется, если } GSADF > \Delta(\varepsilon).$$

Второй этап заключается в поиске интервалов выборки, в рамках которых процесс является «взрывным» с помощью статистики BSADF (*Backward Supremum Augmented Dickey-Fuller*):

$$BSADF_{r_2}(r_0) = \sup ADF_{r_1}^{r_2}, r_1 \in [0, r_2 - r_0].$$

Нулевая гипотеза H_0 статистики BSADF заключается в том, что рассматриваемая подвыборка лежащая в интервале $[r_1, r_2]$ является «взрывным» процессом. В таком случае моменты начала и окончания «взрывного» поведения вычисляются следующим образом:

$$\hat{r}_e = \inf\{r_2: BSADF_{r_2}(r_0) > \Delta(\varepsilon)\}, r_2 \in [r_0, 1]$$

– оценка момента начала пузыря,

$$\hat{r}_f = \inf\{r_2: BSADF_{r_2}(r_0) < \Delta(\varepsilon)\}, r_2 \in [\hat{r}_e + \delta \log(T)/T, 1]$$

– оценка момента окончания пузыря,

где $\Delta(\varepsilon)$ критическое значение статистики BSADF на уровне значимости ε на основании r_2 наблюдений [2].

Для проведения экспериментальных исследований использовался язык программирования R и библиотека Eхuber. Итоговые результаты

метода обнаружения «взрывного» поведения для ряда курса биткоина в промежутке от 11 марта 2017 года по 10 февраля 2022 года представлены на рисунке 1.

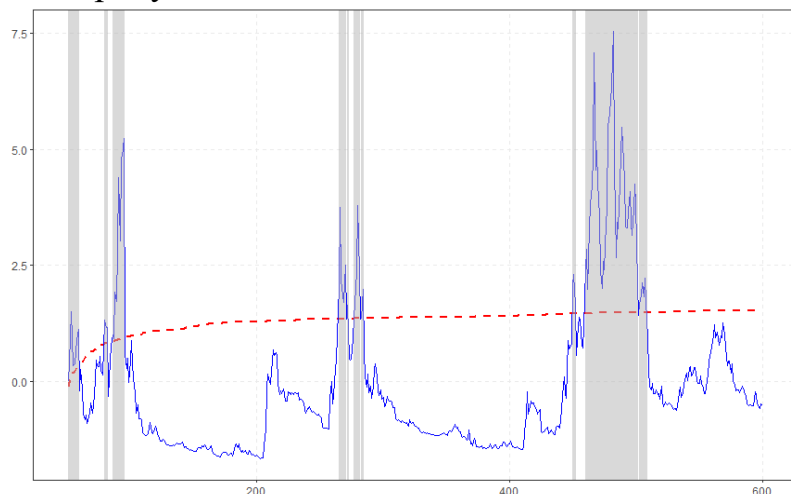


Рис. 2. Иллюстрация работы теста BSADF: временной ряд курса биткоина (синяя линия), критические значения статистики критерия (красная линия), периоды «взрывного» поведения курса биткоина (серые вертикальные полосы)

Таким образом с помощью теста GSADF определены периоды «взрывного» поведения в конце 2017 года, в середине 2019 года и в первом полугодии 2021 года, что соответствует периодам формирования спекулятивного пузыря на рынке биткоина и совпадает с разворотными точками перехода к режиму высокой волатильности построенной модели MS-GARCH.

Библиографические ссылки

1. Малюгин В.И. Рынок ценных бумаг: Количественные методы анализа / В.И. Малюгин. – Москва: Дело, 2003. – 320 с.
2. Phillips P. C. B., Shi S., Yu J. Testing for multiple bubbles: Historical episodes of exuberance and collapse in the S&P 500 // International Economic Review. – 2015. – Т. 56. – №. 4. – С. 1043-1078.
3. Hamilton J.D. Regime-Switching Models / J.D. Hamilton – University of California, 2005. – 15 с.
4. Bauwens L., Preminger A., Rombouts J.V.K. Theory and inference for a Markov switching GARCH model / L.Bauwens, A. Preminger, J.V.K. Rombouts. – CORE, 2007. – Т. 55. – 26 с.
5. Криптовалюты: тренды, риски, меры [Электронный ресурс] www.crb.ru – Режим доступа: https://www.crb.ru/Content/Document/File/132241/Consultation_Paper_20012022.pdf. – Дата доступа 26.04.2022
6. Global Crypto Index 2021 [Электронный ресурс] research.binance.com – Режим доступа: https://research.binance.com/static/pdf/Global_Crypto_Index_2021.pdf. – Дата доступа 08.05.2022