

Финансовые рынки

Автоматический маркет-мейкер — альтернатива традиционным биржевым моделям?

Сергей Игоревич Майоров

Кандидат экономических наук, заместитель директора департамента стратегии
и международного развития, Московская Биржа
(РФ, 125009, Москва, Большой Кисловский пер., 13).
E-mail: sergei.mayorov@moex.ru

Аннотация

Автоматический маркет-мейкер (automated market maker, АММ) — относительно новый способ заключения сделок с финансовыми инструментами, в настоящее время применяемый некоторыми децентрализованными криптовалютными биржами. От традиционных маркет-мейкеров АММ отличается тем, что, во-первых, он лишен субъектности, так как реализован как смарт-контракт, и, во-вторых, пул ликвидности, на который опирается АММ, совместно формируется инвесторами, а не отдельными участниками рынка в одиночку. Цель статьи — попытка ответа на вопросы о применимости АММ к традиционным финансовым рынкам и (в случае применимости) о том, какой технологией — поддерживающей или подрывной в соответствии с известной «дилеммой инноватора» — он способен стать. В статье обосновывается актуальность такой постановки задачи; анализируются основные мотивы использовать АММ, этот механизм сравнивается с традиционными моделями биржевых торгов (непрерывным аукционом и др.); описываются алгоритмические особенности АММ; приводится типология АММ в зависимости от выбранной функции состояния пула ликвидности; рассматриваются взаимодействие ценообразования в АММ с рыночным ценообразованием и роль арбитража; классифицируются основные проблемы для трейдеров (проскальзывание цен и различные манипулятивные практики) и для инвесторов — участников пула ликвидности (прямые и неявные потери, в том числе из-за уязвимости смарт-контрактов). В статье выдвигается предположение, что в ближайшее время модель вряд ли применима на традиционных финансовых рынках из-за присущих ей проблем. Однако в более отдаленной перспективе не исключено, что могут сложиться условия (хотя и с неизвестной вероятностью), когда идея АММ в том или ином виде сможет найти заинтересованный отклик за пределами криптовалютного рынка в качестве поддерживающей или даже подрывной технологии.

Ключевые слова: цифровые активы, криптовалютные биржи, рынок капитала, микроструктура рынка.

JEL: D02, D44, D53.

Представленные в статье отбор и анализ материала, а также оценки и формулировки отражают личное мнение автора и не должны восприниматься как официальная позиция Московской Биржи.

Статья поступила в редакцию в августе 2022 года

Financial Markets

Is an Automated Market Maker an Alternative to Fiat Trading Protocols?

Sergei I. Mayorov

Cand. Sci. (Econ.), Deputy Director, Department of Strategy
and International Development, Moscow Exchange,^a sergei.mayorov@moex.com

^a 13, Bol'shoy Kislovskiy per., Moscow, 125009, Russian Federation

Abstract

An automated market maker (AMM) is a relatively new trading protocol that is currently used by some decentralized cryptocurrency exchanges (DEX). An AMM differs from traditional market makers by being “depersonalized” because it is simply a smart contract that taps into an underlying liquidity pool (LP) which is the common property of participating investors rather than in the inventory of a single market maker. The article considers the applicability of AMMs to traditional (fiat) financial markets and, if applicable, whether AMMs might operate as a “sustaining” or “disruptive” technology as defined in *The Innovator's Dilemma*. The article begins by showing the validity of taking up such questions, outlines the underlying motivations for moving to an AMM, and argues that AMMs present a challenge to the traditional financial infrastructure and to continuous matching of buyers and sellers via a central limit order book (CLOB) as a predominant trading protocol. AMM structure and algorithms are described, and various AMM models are classified according to their indifference curve design. How AMM pricing relates to market pricing and how arbitrage helps in reaching alignment are then examined together with related problems for traders (slippage, front-running, rug pull) and for the investors participating in an LP (impermanent loss, the vulnerability of smart contracts). The article then proposes that, in the near term, AMMs have problems that make their application to traditional markets unlikely. However, in the medium term and provided that certain necessary conditions are met, AMMs in some form may prompt interest outside cryptocurrency markets as a sustaining or even disruptive technology.

Keywords: digital assets, cryptocurrency exchanges, capital market, market microstructure.

JEL: D02, D44, D53.

Acknowledgements

The selection and analysis of materials as well as the assessments and phrasing provided in this article represent the personal opinion of the author and do not constitute the official position of the Moscow Exchange.

Article submitted August 2022

Введение

Криптовалютный рынок всё чаще становится объектом научного анализа. Одно из направлений такого анализа — оценка взаимосвязи криптовалютного рынка с традиционными финансовыми рынками [Столбов, 2019]. Так, в ряде публикаций исследуется вопрос о применимости к криптовалютному рынку закономерностей и моделей, существующих на традиционных рынках [Малкина, Овчинников, 2020; Синельникова-Мурылева и др., 2022].

В настоящей статье взаимосвязь криптовалютного рынка и традиционных финансовых рынков рассматривается с другой стороны: насколько практика криптовалютных бирж может повлиять на традиционные рынки и их инфраструктуру, в том числе биржевую¹. Такая постановка задачи представляется весьма актуальной.

Хотя инновационность традиционной биржевой инфраструктуры вряд ли вызывает сомнение и нуждается в доказательствах, радикальность изменений в ней представляется всё же несколько преувеличенной, даже на долгосрочном горизонте. Наоборот, несмотря на все компьютерные усовершенствования, она в своих базовых принципах достаточно консервативна. Один из наиболее показательных примеров — современные модели торгов, по сути, являются компьютерной репликой тех механизмов, которые возникли уже несколько веков назад [Майоров, 2019a].

Насколько устойчивы эти базовые механизмы и принципы инфраструктуры рынка капитала? В каких направлениях и под влиянием каких факторов они могут эволюционировать или кардинально меняться? Эти вопросы имеют большое практическое значение и заслуживают теоретического осмысления.

Вообще говоря, развитие финансового (как, впрочем, и любого другого) рынка принято соотносить с влиянием трех взаимосвязанных факторов (приводятся в алфавитном порядке): конкуренцией, регулированием и технологиями.

Цифровая трансформация инфраструктуры рынка капитала под влиянием современных технологий рассматривалась в статье [Майоров, 2020], где был отмечен пересмотр некоторых парадигм: биржи всё более явно выходят за рамки своего традиционного бизнеса, в том числе создавая платформы/маркетплейсы

¹ Здесь и в дальнейшем биржами (не криптовалютными) для краткости именуются так называемые провайдеры инфраструктуры рынка капитала (capital markets infrastructure providers), к которым помимо организаторов торговли, или, при наличии соответствующей лицензии, бирж в узком смысле [Harris, 2003; Lee, 2000], относятся прежде всего клиринговые организации — центральные контрагенты [Майоров, 2015; Hasenpusch, 2009; Norman, 2011] и центральные депозитарии [Norman, 2007].

для охвата новых сервисов, новых технологических цепочек и новых рыночных взаимодействий. Влияние регулирования на инфраструктуру рынка капитала — тема, выходящая за рамки данной статьи.

Что же касается конкуренции, то в последнее время всё более заметными становятся вызовы со стороны криптовалютных бирж, которые за достаточно короткий срок сумели вырасти в солидные институты (наиболее успешные — с многомиллиардной капитализацией) и стали заявлять претензии на роль будущих образцов для финансовых рынков в целом: во-первых, тем, что криптовалютные биржи уже сейчас применяют технологии, отсутствующие в сопоставимом масштабе у традиционных бирж (ключевые сервисы в облачном режиме, круглосуточные торги без выходных (24/7), мгновенные расчеты, отсутствие посредников и т. п.); во-вторых, благодаря экспансии криптовалютных бирж и, соответственно, применяемых ими технологий на традиционные рынки (организация торговли традиционными активами как цифровыми (токенизированными), распространение упрощенного клиринга на традиционные рынки и т. п.).

Среди инноваций криптовалютных бирж обращает на себя внимание такой феномен, как автоматический маркет-мейкер (automated market maker, AMM) — новый способ заключения сделок с финансовыми инструментами, применяемый некоторыми децентрализованными криптовалютными биржами (decentralized cryptocurrency exchanges, DEX). От традиционных маркет-мейкеров AMM отличается тем, что, во-первых, он лишен субъектности, так как реализован как смарт-контракт, и во-вторых, пул ликвидности, на который опирается AMM, совместно формируется инвесторами, а не привилегированным участником рынка.

Активное обсуждение проблематики AMM связано не только с ожиданиями (возможно, небесспорными) развития DEX и в целом «децентрализованных финансов» (DeFi) самих по себе, но и с попытками понять, насколько эта модель, альтернативная по отношению к существующим, может стать конкурентным вызовом для традиционной инфраструктуры финансовых рынков (TradFi).

1. Базовые мотивации

АММ и децентрализация

Децентрализованные криптовалютные биржи являются объектом пристального внимания финансовой индустрии. Как представляется, такое внимание, к тому же гораздо большее, чем мож-

но было бы рассчитывать исходя из нынешнего размера DEX², вызвано прежде всего ожиданиями дальнейшего развития этих бирж, в том числе в рамках так называемой децентрализованной модели финансов DeFi³. Разумеется, вовсе не обязательно, что эти ожидания сбудутся, но если такое всё же произойдет, то это может радикально, вплоть до дезинтермедиации, повлиять как на доминирующие сейчас централизованные криптовалютные биржи (centralized cryptocurrency exchanges, CEX), так и на TradFi.

Главное отличие DEX от CEX принято связывать с технологиями хранения цифровых активов (токенов) и расчетов по сделкам с ними:

- если в CEX токены (приватные ключи) клиентов помещаются в биржевые кошельки, напоминающие депозитории в TradFi, то в DEX они хранятся напрямую в распределенных реестрах;
- если в CEX расчеты по сделкам осуществляются путем переводов внутри кошельков, то в DEX передача токенов осуществляется непосредственно в распределенных реестрах;
- если в CEX, как и в TradFi, существует временной разрыв между заключением сделки и ее исполнением в кошельках (пусть даже в отличие от современной TradFi этот разрыв невелик — как правило, в рамках $T + 0$), то в DEX реализована модель так называемых мгновенных расчетов (instant/instantaneous settlement), то есть заключение сделки уже означает ее одновременное исполнение⁴.

Кроме того, присущая DEX децентрализация внедряется и в технологии торговли:

- если в CEX, как и в TradFi, сделки заключаются главным образом в режиме непрерывного аукциона или «центральной книги лимитных заявок» (central limit order book, CLOB⁵) с привлечением маркет-мейкеров, то в DEX реализован AMM как смарт-контракт. При этом, в отличие от CEX и TradFi,

² В настоящее время на долю DEX приходится около 10% всего криптовалютного рынка (спот). При этом, однако, *Uniswap*, самая крупная DEX и самый известный AMM-проект, входит в список 5–10-го крупнейших криптовалютных бирж. Ее дневной оборот составляет около 1–2 млрд долл. (в 10 раз меньше, чем у *Binance* (CEX), криптовалютной биржи номер 1).

³ Помимо DEX к DeFi также относят применения распределенных реестров без посредников для предложения новых активов, в том числе *stablecoins*, *долговых*, *страховых* и *срочных инструментов*, а также для управления активами.

⁴ Как утверждается в недавнем (апрель 2022 года) материале компании *Ascendant Strategy*, децентрализованные финансы (DeFi) могут радикально изменить послеторговый ландшафт на рынках капитала, прежде всего благодаря устранению зазора между торговлей и расчетами [Re-DeFi-ing the Post., 2022]).

⁵ В отечественной практике CLOB принято называть биржевым стаканом.

применяющих одновременно несколько (наряду с CLOB) торговых протоколов, нынешние DEX не используют иных протоколов, кроме АММ (разумеется, за исключением DEX, вообще не применяющих АММ⁶);

- если в CEX, как и в TradFi, торгуются только централизованно допускаемые активы, то в DEX клиенты могут при помощи АММ сами создавать торгуемые инструменты.

АММ и непрерывный аукцион

Появление и последующее развитие модели АММ — открытая полемика с непрерывным аукционом как торговым протоколом, доминирующим в TradFi и CEX. При этом указывают на следующие основные недостатки центральной книги лимитных заявок:

- непрерывный аукцион чувствителен к фрагментации и потому плохо приспособлен к малоликвидным рынкам, к каковым относятся DEX, в том числе из-за того, что участники могут сами создавать инструменты;
- непрерывный аукцион подвержен манипулированию и чувствителен к проблемным практикам высокочастотной торговли [Майоров, 2019b];
- непрерывный аукцион при прочих равных условиях дискриминирует провайдеров ликвидности (makers) в том смысле, что всё возможное в CLOB улучшение цены достается ее потребителям (takers).

АММ и традиционные маркет-мейкеры

Казалось бы, описанные выше недостатки CLOB могли бы быть сглажены, по крайней мере в отношении чувствительности к фрагментации, при помощи традиционных маркет-мейкеров⁷, дополняющих ликвидность в непрерывном аукционе. Однако и к ним, как оказалось, есть претензии:

- традиционные (TradFi, CEX) маркет-мейкеры действуют в собственных интересах, не всегда совпадающих с интере-

⁶ Различие между DEX и CEX по линии «АММ против CLOB» не является повсеместным. Так, (1) в некоторых DEX (например, *EtherDelta*) сделки заключаются через книгу заявок, правда, менее централизованную, чем CLOB: трейдеры могут сами выбирать контрагента, приоритеты (например, price-time) не устанавливаются; (2) в ряде DEX и CEX есть запрос котировок (RFQ); (3) известен случай реализации периодического аукциона в DEX (одна из децентрализованных площадок в рамках Binance).

⁷ Традиционный маркет-мейкер — профессиональный участник рынка, являющийся поставщиком (провайдером) ликвидности, зачастую на основании соответствующих договоренностей с биржей.

сами рынка, и поэтому иногда могут влиять на рынок неблагоприятным образом (противоречивая практика платы за поток заявок [Rosov, 2016], неисполнение обязательств по поддержанию котировок, особенно в проблемные периоды и т. д.);

- эффективность традиционных маркет-мейкеров, даже при непротиворечивости интересов, может ограничиваться недостатком их средств («запасов») для поддержания должных котировок.

Внимание на достаточность запасов (inventories) маркет-мейкеров, или дилеров, давно изучается в рамках так называемого микроструктурного анализа [Майоров, 2019a], при этом базовая модель поведения описывается следующим образом:

- если запас чрезмерен, то дилер для балансировки портфеля распродаст лишние активы другим дилерам и/или понизит свои котировки: уменьшение цены продажи будет способствовать сокращению запаса, а уменьшение цены покупки будет препятствовать его дальнейшему наращиванию;
- если же, наоборот, такой запас недостаточен, то дилер для балансировки портфеля купит активы у других дилеров и/или повысит свои котировки: увеличение цены покупки будет способствовать росту запаса, а увеличение цены продажи ограничит его снижение.

В начале 1970-х годов Фишер Блэк, считавший, что рыночная ликвидность упирается в ограниченность дилерских запасов, предлагал использовать автоматизацию для привлечения широкой массы инвесторов к расшивке этой проблемы [Black, 1971a; 1971b].

По замыслу, модель АММ призвана преодолеть недостатки, инкриминируемые традиционным маркет-мейкерам:

- алгоритмы вместо монополизма и коллизии интересов;
- демократичные пулы ликвидности вместо запасов маркет-мейкеров.

2. Основные принципы АММ

В сущности, идея АММ достаточно проста: (1) из взносов инвесторов — владельцев цифровых активов формируется пул ликвидности; (2) участники рынка (трейдеры) заключают сделки против этого пула ликвидности по автоматически (при помощи

смарт-контракта) формируемым ценам; (3) алгоритм формирования цен направлен на поддержание постоянства некоторой функции, характеризующей состояние пула. Поскольку такое ценообразование является достаточно механическим, принципиальная применимость механизма автоматического маркет-мейкера в значительной степени зависит от того, насколько его цены могут соответствовать рыночным.

Ниже эти принципы рассматриваются более подробно — в том объеме, который, как представляется, целесообразен для адекватного понимания механизма автоматического маркет-мейкера, его достоинств, проблем и перспектив.

Проблематике АММ посвящена обширная литература (количество публикаций постоянно увеличивается) с уже сложившимся стилем изложения технических аспектов. Этот стиль по возможности выдерживается и в данной статье.

АММ представляет собой смарт-контракт [Гребёнкина, Зубарев, 2018], в большинстве случаев на платформе Ethereum, со следующими основными функциями: (1) поддержка так называемого пула ликвидности, (2) заключение сделок с использованием активов в пуле ликвидности.

Пул ликвидности (LP)

Пул ликвидности (liquidity pool, LP) — это набор цифровых активов (токенов), вносимых участниками пула для последующего совершения торговых операций с такими активами в соответствии с определенным алгоритмом.

Формирование LP. LP создается (свободно и бесплатно) некоторым инициатором, после чего в него могут вносить активы и другие участники (инвесторы):

- инвесторы вносят активы согласно их текущей количественной пропорции в пуле (о пропорциях пула см. «Структура и размер LP» ниже);
- инвесторы вправе выводить активы из пула, причем вывод осуществляется в соответствии с долей инвестора в LP и согласно текущей количественной пропорции активов в пуле.

Инвесторы, в том числе инициатор LP, получают доход от комиссии, взимаемой при торговле против активов LP, пропорционально своим долям в пуле (например, на бирже *Uniswap* тариф равен 0,3%). Для подтверждения прав на получение такого дохода инвесторам могут предоставляться специально выпускаемые токены (LP tokens, LP shares и т. п.).

Фактически LP — имущественный фонд, но весьма специфический. Так, LP отличается от имущественного пула клиринговых сертификатов участия (КСУ)⁸ не только составом активов, но и целями, организацией, регулированием, юридической защищенностью и т. д. (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Сравнение пула ликвидности (АММ) и имущественного пула КСУ

Table 1

Comparison of AMM Liquidity Pools With Clearing Participation Certificate Asset Pools		
	Пул ликвидности (АММ)	Имущественный пул КСУ
Активы пула		
Состав	Цифровые активы (токены)	Ценные бумаги, денежные средства, в том числе в иностранной валюте, драгоценные металлы, а также некоторые товары
Пропорции	Стоимостные пропорции фиксированы (за редкими исключениями)	Ограничения на пропорции отсутствуют
Собственность	Переходят в «коллективную собственность»	Остаются в собственности владельцев
Учет	В рамках смарт-контракта	Обособленный учет на клиринговых счетах
Юридическое оформление	В лучшем случае — лицензия инвестиционного фонда	Закон, договор об имущественном пуле
Обращение	Покупка и продажа через АММ — главная цель LP	Иммобилизация для выпуска КСУ
Сертификаты		
Инструменты	Liquidity tokens и т. п.	Клиринговые сертификаты участия (КСУ)
Обращение	Возможно как дополнительное право участников LP	В основном РЕПО с ЦК или с Банком России, индивидуальное клиринговое обеспечение. Обращение КСУ — главная цель имущественного пула

Структура и размер LP. Структура LP (состав активов и пропорции между ними) фиксируется инициатором при создании LP. При этом в большинстве случаев:

- в состав LP входят два вида активов⁹, одним из активов зачастую является stablecoin в качестве «денежного токена» (см. «Сделка как обмен активов и как их покупка/продажа» ниже);
- стоимостная пропорция LP, то есть соотношение размеров активов с учетом их цен, — обычно 50/50¹⁰. Данная пропор-

⁸ КСУ — клиринговые сертификаты участия [Харченко, 2016].

⁹ Исключения: Balancer, Bancor, Curve, допускающие наличие более двух видов активов в LP.

¹⁰ Исключения: Balancer и Bancor, допускающие стоимостные пропорции LP не только 50/50.

ция поддерживается автоматически¹¹ благодаря тому, что в модели АММ относительные цены активов (то есть выражение цены одного токена через другой) зависят исключительно от соотношений этих активов «в штуках» и тем самым делают фиксируемую стоимостную пропорцию независимой от постоянно меняющейся количественной пропорции (табл. 2).

Здесь и далее механизмы АММ рассматриваются, как правило, на примере пула ликвидности с наиболее часто встречающейся структурой: два вида активов (X в количестве x и Y в количестве y), стоимостная пропорция 50/50.

Т а б л и ц а 2

Основные параметры пула ликвидности

Table 2

Параметр пула ликвидности	Значение параметра	
	при измерении относительной цены через X	при измерении относительной цены через Y
Количество активов (шт.)		
Актив X	x	
Актив Y	y	
Всего активов в пуле (шт.)	$x + y$	
Количественная пропорция	x/y	
Относительная цена (P)		
Актив X	1	y/x
Актив Y	x/y	1
Стоимостной размер активов		
Актив X	x	$P \times x = y/x \times x = y$
Актив Y	$P \times y = x/y \times y = x$	y
Пул в целом	$2x$	$2y$
Стоимостная пропорция	50/50	

Хотя относительные цены и стоимостной размер пула ликвидности могут быть равным образом выражены через любой из активов (X или Y), на практике во многих пулах присутствует *stablecoin*¹² (в дальнейшем будет обозначаться как Y), так что все стоимостные («денежные») показатели рассчитываются только относительно него.

¹¹ Исключение — *Bancor*, где реализован динамический пересчет стоимостных пропорций в зависимости от изменения рыночных цен (DAMM).

¹² *Stablecoin* — цифровой актив, цена которого привязана (или считается надлежащим образом привязанной) к активу с относительно стабильной ценой, в рассматриваемых случаях — к фактическим денежным средствам.

Заклучение сделок
с активами пула ликвидности

Сделка как обмен активов и как их покупка/продажа. Контр-агенты АММ (далее — трейдеры) при желании по собственной инициативе заключают сделки в отношении пары активов пула ликвидности $\{\pm\Delta x, \pm\Delta y\}$ ¹³: получают нужный актив из пула в обмен на другой актив, поставляемый в пул.

Каждую такую сделку обмена можно также воспринимать как покупку или продажу в зависимости от того, с какой точки зрения рассматривается эта сделка (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Обмен активов с разных точек зрения

T a b l e 3

Assets Exchange from Different Viewpoints		
	С точки зрения X	С точки зрения Y
С точки зрения трейдера	Покупка Δx за Δy	Продажа Δy за Δx
С точки зрения LP/АММ	-Δx, +Δy	
	Продажа Δx за Δy	Покупка Δy за Δx
С точки зрения LP/АММ	Покупка Δx за Δy	Продажа Δy за Δx
С точки зрения трейдера	+Δx, -Δy	
	Продажа Δx за Δy	Покупка Δy за Δx
Цена сделки	$\Delta y / \Delta x$	$\Delta x / \Delta y$

Наличие в LP актива, являющегося stablecoin (см. «Структура и размер LP» выше), позволяет позиционировать сделки по обмену как покупку/продажу X за деньги в виде Y (stablecoin) по цене $\Delta y / \Delta x$.

Алгоритм АММ. Суть автоматического маркет-мейкинга в том, что сделки между пулом ликвидности и трейдерами заключаются по автоматически определяемым ценам $\Delta y / \Delta x$:

- трейдер-покупатель указывает Δy , то есть сколько Y он готов заплатить за X, а алгоритм рассчитывает Δx , то есть сколько X получит трейдер за Δy ;

¹³ Здесь и далее предполагается, что Δx и Δy — положительные числа. Знак означает влияние на размер актива в LP: «+» — увеличение (покупка с точки зрения LP/АММ), «-» — уменьшение (продажа с точки зрения LP/АММ).

- трейдер-продавец указывает Δx , то есть сколько X он хочет продать за Y , а алгоритм рассчитывает Δy , то есть сколько Y получит трейдер за Δx ;
- в любом случае алгоритм работает таким образом, чтобы состояние LP, измеряемое некоторой функцией $f(x, y)$, оставалось после сделки неизменным: $f(x, y) = \text{const.}$

Так, если перед заключением сделки LP представлял собой $\{x_0, y_0\}$ (x штук актива X и y штук актива Y на момент 0), то в результате покупки (с точки зрения LP) Δx пул изменится на $\{x_0 + \Delta x, y_0 - \Delta y\}$. Поскольку $f(x, y) = \text{const.}$, то Δy должно быть таким, чтобы $f(x_0 + \Delta x, y_0 - \Delta y) = f(x_0, y_0)$. Аналогично в результате продажи Δx пул изменится на $\{x_0 - \Delta x, y_0 + \Delta y\}$, где Δy должно быть таким, чтобы $f(x_0 - \Delta x, y_0 + \Delta y) = f(x_0, y_0)$.

О функции $f(x, y) = \text{const.}$ LP-кривая. Один из ключевых аспектов дизайна АММ — выбор функции $f(x, y) = \text{const.}$ (см. «Типология АММ» ниже). В самом общем виде это монотонно убывающая функция¹⁴ в положительном квадранте между осями X и Y (см. примеры на рис. 1 и 2), задающая кривую, в дальнейшем называемую LP-кривой.

LP-кривая похожа на так называемую кривую безразличия (indifference curve):

- на кривую безразличия для потребителей, каждая точка которой соответствует набору активов $\{x, y\}$ с одинаковой суммарной полезностью $k = \text{const.} = f(x, y)$;
- на кривую безразличия для производителей, называемую также изоквантой (isoquant), каждая точка которой соответствует набору ресурсов $\{x, y\}$, обеспечивающих одинаковый выпуск продукции $k = \text{const.} = f(x, y)$.

Аналогичным образом каждая точка LP-кривой соответствует набору активов в пуле $\{x, y\}$, при котором сохраняется некое состояние LP, измеряемое как $k = \text{const.} = f(x, y)$: если количество X увеличилось/уменьшилось, то для сохранения состояния LP количество Y должно уменьшиться/увеличиться на необходимую величину¹⁵.

¹⁴ То есть $f(x + \Delta x, y) < f(x, y)$ и $f(x, y + \Delta y) < f(x, y)$ при положительных значениях Δx и Δy .

¹⁵ Кроме того, соотношение x и y в каждой точке кривой задает относительную цену X (y/x), которая равна тангенсу угла наклона касательной с точностью до знака и, таким образом, относительной цене сделки ($\Delta y/\Delta x$) при текущем состоянии LP и малых значениях Δx (рис. 1)

Интерпретация значения $k = \text{const}$ как состояния LP. В отличие от известных кривых безразличия интерпретация значения k применительно к LP-кривой не столь очевидна [Mohan, 2022].

С одной стороны, на практике функция $f(x, y)$ задается так, что состояние пула, измеряемое этой функцией, тем или иным образом связано с размером LP: k представляется либо как среднеарифметическое x и y , либо как их среднегеометрическое, либо как комбинация этих средних (табл. 4).

С другой стороны, хотя существующие способы задания функции, возможно, не лишены целесообразности, содержательный смысл значения k всё же не до конца ясен, поскольку сложение и умножение x и y — это сложение и умножение количеств различных токенов, как если бы количество яблок суммировалось с количеством апельсинов или умножалось на него.

Изменение значения k . Постоянство k для отдельно взятой LP-кривой не означает, что k не может меняться вообще. На самом деле значение k пересчитывается всякий раз при внесении активов в пул, при выводе активов из него, а также после сделок, если комиссия направляется в LP¹⁶, то есть при изменении «абсолютного» размера LP — «абсолютного» в том смысле, что увеличение/уменьшение количества одного актива не сопровождается уменьшением/увеличением количества другого актива, с тем чтобы новое состояние LP оставалось на той же LP-кривой.

Пересчет значения k ведет к переходу на другую LP-кривую в рамках семейства, определяемого заданной функцией $f(x, y) = \text{const}$. (см. пример на рис. 1).

Типология АММ

Модели АММ различаются прежде всего по тому, как задана функция $f(x, y) = k$. С этой точки зрения известны пять моделей АММ, которые могут быть отнесены к трем типам (табл. 4).

Модели, основанные на произведении x и y (СМММ, СРММ, ДАММ). Функция $f(x, y)$ здесь задается как средневзвешенное геометрическое (с точностью до степени) x и y . При этом веса мо-

¹⁶ При заключении сделок с трейдеров взимается комиссия (τ) в соответствующих токенах. Например, трейдер продает Δx и получает $\Delta y \sim (1 - \tau) \times \Delta x$. Для LP это выглядит как (1) эквивалентная с точки зрения LP-кривой покупка $(1 - \tau) \times \Delta x$ за Δy (Δy определяется через $f(x + (1 - \tau) \times \Delta x, y - \Delta y) = k$; и (2) получение актива X в количестве $\tau \times \Delta x$.

В зависимости от дизайна конкретного АММ комиссия, взимаемая с трейдеров ($\tau \times \Delta x$ для примера выше), может либо учитываться отдельно от LP, либо добавляться к нему. В последнем случае значение k пересчитывается, для примера выше: $k_{\text{new}} = f(x + \Delta x, y - \Delta y) > k = f(x + (1 - \tau) \times \Delta x, y - \Delta y)$.

Т а б л и ц а 4

Модели АММ

Table 4

AMM Models				
Модель		Функция $f(x, y) = k$	Интерпретация k	Примеры реализации
Модели, основанные на произведении x и y				
CMMM	Constant Mean Market Maker	$x^\omega \cdot y^{1-\omega} = k, \omega \in [0, 1]$	Средневзвешенное (с постоянными весами) геометрическое x и y	Balancer
CPMM	Constant Product Market Maker	$x \cdot y = k$	«Удвоенное» ^а средне-геометрическое x и y	Uniswap
DAMM	Dynamic Automated Market Maker	$x^\omega \cdot y^{1-\omega} = k, \omega = \frac{p_x \cdot x}{z} \in [0, 1]$ p_x — цена x в точке z	Средневзвешенное (с динамическими весами) геометрическое x и y	Bancor
Модель сложения $x + y$				
CSMM	Constant Sum Market Maker	$x + y = k$	Размер LP (в разнородных токенах) Удвоенное средне-арифметическое x и y	mStable (ныне не функционирует)
Гибридная модель				
HFMM	Hybrid Function Market Makers	$\lambda \cdot \frac{x+y}{2} + (1-\lambda) \cdot \sqrt{x \cdot y} = k,$ $\lambda \in [0, 1]$	Среднее из среднего арифметического и среднего геометрического x и y	Curve, StableSwap

^а В данном случае «удвоение» — не умножение на 2 (обратное делению на 2 для среднего арифметического), а возведение в степень 2 (обратное извлечению корня для среднего геометрического).

Источник: [Mohan, 2022] с добавлениями и комментариями автора.

гут быть постоянными (СМММ) или динамически меняющимися (DAMM).

Общим для всех моделей такого типа является следующее:

- LP-кривая представляет собой гиперболу — монотонно убывающую вогнутую линию (см. примеры на рис. 1 и 2);
- постоянство среднего геометрического здесь означает, что относительное (например, на 5%) увеличение покупаемого в пул актива компенсируется аналогичным относительным (то есть тоже на 5%) уменьшением актива, продаваемого из пула. При этом, однако, все вычисления принято делать для абсолютных («в штуках») изменений Δx и Δy ;
- в силу нелинейности LP-кривой относительные цены активов не постоянны, а меняются в зависимости от их размера, что, с одной стороны, автоматически формирует спред АММ

(естественный атрибут маркет-мейкинга), а с другой — способствует проскальзыванию цены (см. ниже).

Uniswap CPMM, частный случай CMMM¹⁷, — несомненно самая известная модель АММ:

- в практическом плане, поскольку Uniswap, как уже отмечалось выше (см. примечание 3 выше), — самая крупная DEX;
- в теоретическом плане, поскольку CPMM благодаря своей относительной простоте наиболее удобна для демонстрации и анализа подхода в целом;
- в историческом плане, поскольку CPMM, как считается, была первой реализованной моделью АММ (2018).

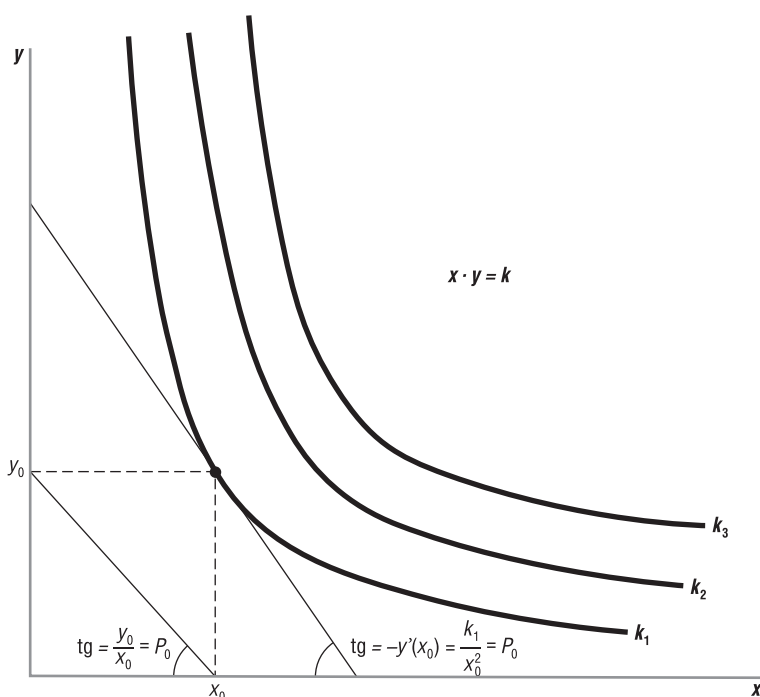


Рис. 1. LP-кривые для CPMM (на примере Uniswap)

Fig. 1. LP Curves for CPMM (An Instance of Uniswap)

Модель сложения $x + y$ (CSMM). LP-кривая для CSMM представляет собой убывающую прямую линию (точнее, отрезок пря-

¹⁷ Если считать веса X и Y одинаковыми ($\omega = 0,5$) и возвести полученное среднегеометрическое $(\sqrt{x \cdot y})$ в квадрат («удвоить»), то функция $f(x, y) = k$ примет вид $x \cdot y = k$, а соответствующая LP-кривая — вид простейшей гиперболы (рис. 1).

мой линии, ограниченный положительными осями X и Y), что, в частности, означает постоянство относительных цен и, как следствие, отсутствие проскальзывания.

Однако нереалистичность постоянства цен, похоже, перевешивает достоинство, связанное с отсутствием проскальзывания, так что CSMM является скорее теоретическим концептом, в том числе для построения гибридных конструкций, чем практически значимой моделью.

Гибридная модель (HFMM). Существующие модели такого типа основаны на комбинации произведения и сложения x и y , что, по замыслу, должно минимизировать проскальзывание при меняющихся ценах.

Ценообразование АММ и рыночное ценообразование

Котировки и спред АММ. Механизм котировок в моделях АММ с нелинейной LP-кривой в чем-то схож с механизмом котировок у традиционных маркет-мейкеров, если последний рассматривать с точки зрения «желаемого запаса» (см. «АММ и традиционные маркет-мейкеры» выше): например, и в том, и в другом случаях маркет-мейкер увеличивает цену покупки дефицитного актива и снижает цену покупки избыточного актива. В результате возникает спред между котировками (рис. 2): цена продажи (с точки зрения LP/АММ) больше цены покупки; при заданном объеме сделки (Δx) спред тем уже, чем крупнее LP (то есть чем больше x_0 по сравнению с Δx).

В отличие от спреда традиционных маркет-мейкеров, образующего их прибыль, спред АММ сам по себе не увеличивает доходы инвесторов: главное предназначение спреда АММ — постоянность свойства LP в соответствии с LP-кривой.

На величину спреда также влияют комиссия АММ и плата (gas) за верификацию сделок в Ethereum: спред тем шире, чем больше эти транзакционные издержки.

Если соотношение между рыночными ценами активов устойчиво, то механизм котировок в АММ может достаточно эффективно нивелировать колебания спроса и предложения вокруг равновесного уровня¹⁸. Однако если соотношения цен меняются (а это, очевидно, более типичный случай), то для приведения цен в новое равновесие необходим арбитраж.

¹⁸ Например, покупка актива в пул сразу после продажи этого же актива и в том же количестве из пула вернет цену актива к ее первоначальному уровню.

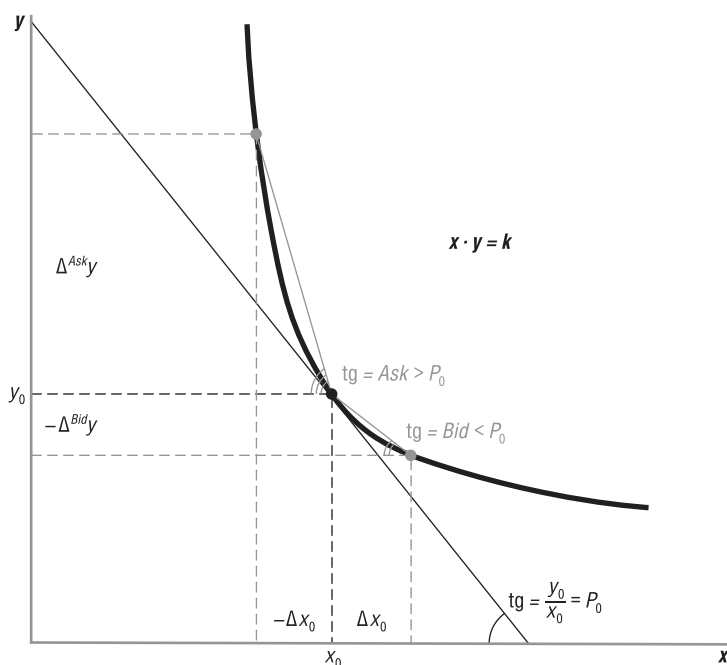


Рис. 2. Спред CPM (на примере Uniswap)

Fig 2. CPM Spread (An Instance of Uniswap)

Роль арбитража. Рынки криптоактивов, обслуживаемые АММ, волатильны, не всегда ликвидны и зачастую фрагментированы: один и тот же токен может входить в состав сразу нескольких пулов (нередко даже в рамках одной DEX) и/или торговаться на других площадках (CEX и/или DEX) вне модели АММ¹⁹. Такая фрагментация порождает множественность цен и, соответственно, создает потенциал для арбитража, приводящего в конечном счете к их выравниванию, то есть к формированию действительно рыночной цены.

Арбитраж на рассматриваемом сегменте имеет, пожалуй, большее значение, чем на рынках с традиционным маркет-мейкингом: если в последнем случае приближение локальных цен к рыночным уровням осуществляется как арбитражными операциями трейдеров, так и действиями маркет-мейкеров, передвигающих котировки в зависимости от меняющейся конъюнктуры, то в случае с АММ нагрузка ложится исключительно на арбитражеров, так как ценообразование АММ — это достаточно механическая, то есть основанная только на размере LP и форме LP-кривой, реакция на интерес трейдера.

¹⁹ Если же токен есть только в одном LP, то это может лишить рынок достоверных ценовых ориентиров и повысить риски вплоть до мошенничества (см. о rug pull ниже).

Благоприятные условия для арбитража, создаваемые волатильностью, фрагментацией, пониженной ликвидностью и особенностями АММ, делают именно арбитражеров главными бенефициарами этой модели.

Эмпирические исследования [Barbon, Rinaldo, 2022; Lehar, Parlour, 2021] подтверждают эффективность арбитражных операций вокруг АММ: цены АММ не слишком отличаются от цен CEX (по одним и тем же токенам) в долгосрочном плане. При этом в более краткосрочном плане эффективность цен АММ ниже по сравнению с CEX, однако это вызвано не столько особенностями АММ как таковых, сколько более высокими тарифами АММ и, что даже более существенно, более высокими платежами за верификацию сделок в Ethereum.

Очевидно, что эффективность арбитража полезна для трейдеров. Что же касается влияния арбитража на инвесторов, то тут ситуация не столь однозначна, поскольку: во-первых, ребалансировка LP в результате действий арбитражеров приводит к «непостоянным потерям» (см. ниже) у инвесторов в силу дизайна АММ самого по себе; во-вторых, действия добросовестных арбитражеров не всегда успевают за атаками злоумышленников, или, более корректно, предприимчивых трейдеров, которые не только успевают вклиниться между отклонением цены в пуле от рыночной цены (нередко ими же и вызванным) и ее арбитражным нивелированием, но и пользуются ошибками в смарт-контрактах (см. ниже). По данным 2021 года, на атаки, использующие уязвимости в смарт-контрактах, протоколах и дизайне, приходилось более двух третей всех атак на DeFi [Osborne, 2022].

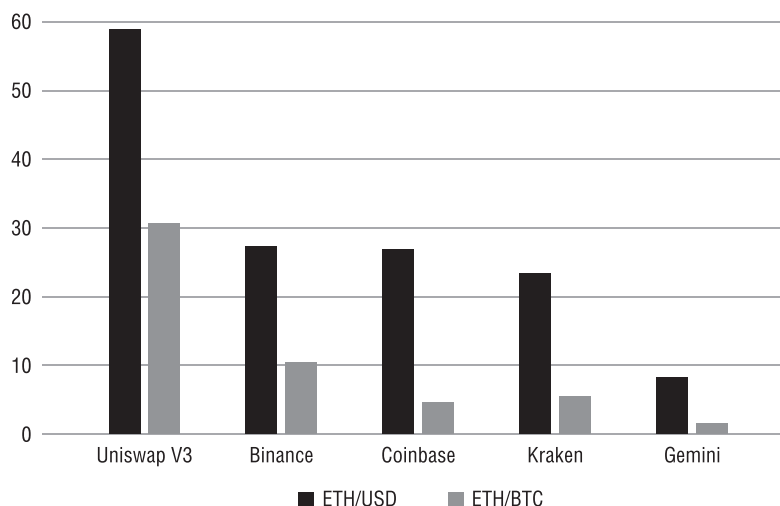
3. Достоинства АММ

Основными достоинствами модели АММ представляются (по большей части — декларируются, хотя, впрочем, уже не только) следующие.

Для трейдеров и рынка в целом:

- повышение ликвидности: постоянное наличие контрагента по сделкам, узкие (как считается) спреды, и бóльшая, чем на CEX, глубина рынка (рис. 3), отсутствие «фантомной ликвидности» [Майоров, 2019b];
- ограничение определенных манипулятивных практики (spoofing/layering и т. п.) [Brown, 2022];
- демократизация структуры: привлечение инвесторов к участию в ценообразовании (через участие в LP).

Для инвесторов — дополнительный доход (yield farming²⁰), а для инициаторов пулов ликвидности — гибкое, оперативное и недорогое создание новых инструментов.



Источник: Uniswap Labs (приводится по <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-05-05/defi-exchange-says-it-provides-more-liquidity-than-larger-rivals?sref=8GWybyo5>).

Рис. 3. Глубина рынка по наиболее известным парам в *Uniswap* и на крупнейших централизованных криптовалютных биржах

Fig. 3. Depth of Markets for the Most Common Asset Pairs at *Uniswap* and at the Largest Centralized Crypto Exchanges

4. Проблемы АММ

Ниже классифицируются основные недостатки АММ, связанные с особенностями этой модели и существующие наряду с высокой волатильностью, низкой ликвидностью, малой регулируемостью и другими проблемами, общими для DEX и рынка криптоактивов в целом.

Для трейдеров

Проскальзывание (slippage). Под проскальзыванием понимается отклонение цены, по которой заключается сделка, от той, на которую трейдер давал согласие. Риск проскальзывания существует практически на всех рынках (за исключением разве что

²⁰ Yield farming («доходное фермерство», «выращивание криптовалюты») — предоставление токенов для получения дохода в той или иной форме. Помимо участия в LP к «доходному фермерству» относятся, например, кредитование токенами и получение дохода от токенов, приобретенных при внесении активов в LP (LP tokens), в виде процентов и/или платы за верификацию транзакций (proof-of-stake).

малореалистичных конструкций типа CSMM), особенно при их низкой ликвидности. Однако в случае АММ риск проскальзывания повышен вследствие:

- низкой ликвидности;
- недостаточного быстроедействия;
- исполнения сделок в распределенном реестре (Ethereum), на что уходит 12–15 секунд;
- отсутствия лимитных заявок и иных инструментов для контроля трейдерами ценовых рисков.

Игра на опережение (*front-running*). Реализованная на DEX концепция мгновенных расчетов означает, что сделка заключается не когда трейдер дает согласие на нее, а когда она исполнится в Ethereum, причем по цене, которая будет отражать количественную пропорцию LP на момент исполнения.

Время на исполнение сделки в Ethereum оценивается в 12–15 секунд, и столь длительный срок не только увеличивает риск проскальзывания, но и создает условия для так называемой бутербродной атаки (*sandwich attack*, [Heimbach, Wattenhofer, 2022]) — разновидности игры на опережение, то есть стратегии, основанной на знании о существовании другой заявки²¹. Однако в отличие от стандартной модели *front-running* «бутербродная атака» ориентирована на получение прибыли не столько за счет убытка добросовестного трейдера (хотя он не исключается), сколько за счет знания того, как изменится цена. Такое знание позволяет трейдеру, предпринимаящему «бутербродную атаку», предложить повышенную цену майнерам за опережающее исполнение своей заявки²².

По данным 2021 года, на *front-running* приходилось 2% всех атак на DeFi [Osborne, 2022].

«Выдергивание коврика» (*rug pull*) — мошенническая схема выкачивания средств в обмен на недоброкачественные токены [Mazorra et al., 2022]:

- 1) сначала инициатор LP «расстилает коврик», создавая пул, состоящий из недоброкачественных («плохих») токенов X и доброкачественных («хороших») токенов Y , и побуждая трейдеров (при помощи рекламы, соцсетей и т. п.) покупать X за Y ;

²¹ Централизованные криптовалютные биржи менее (по сравнению с децентрализованными) подвержены подобным манипулятивным практикам, поскольку у них отсутствует дополнительное подтверждение сделок в распределенном реестре.

²² Майнеры, пользуясь своим исключительным влиянием на исполнение сделок, нередко сами организуют «бутербродные» и т. п. атаки. Так, совокупные доходы майнеров от манипулирования верифицируемыми транзакциями (*miner extractable value*) в первой половине 2022 года превысили 600 млн долл. [Auer et al., 2022].

- 2) массовая покупка трейдерами X приводит к смещению количественной пропорции LP в сторону Y и взлету цены «плохих» токенов;
- 3) после того как цена X поднимется до нужного уровня, инициатор «выдергивает коврик», либо продавая имеющиеся у него «плохие» токены (по сути, pump and dump²³), либо просто крадя все токены из пула, например при помощи соответствующих функций, «защитных» в смарт-контракт. В любом случае мошенник забирает «хорошие» токены Y , оставляя трейдерам ничего не стоящие «плохие» токены X .

Специфика АММ и DEX особо благоприятна для подобных стратегий вследствие простоты создания LP, отсутствия аудита, возможности бесконтрольного взвинчивания цен из-за отсутствия арбитража (мало-мальски ликвидный рынок «плохих» токенов есть только вокруг LP) и механического определения цен в АММ.

По данным 2021 года, на rug pulls приходилось 6% всех атак на DeFi [Osborne, 2022].

Для инвесторов (участников LP)

«Непостоянная потеря» (impermanent loss) — упущенная выгода инвесторов из-за изменения относительных цен токенов [Barbon, Rinaldo, 2022; Mohan, 2022], которая возникает из-за того, что увеличение цены одного токена автоматически (при нелинейности LP-кривой) ведет к уменьшению доли этого токена в пуле ликвидности, при этом эффект от смещения количественной пропорции LP в сторону относительно более дешевого токена перевешивает возможный рост стоимостного размера пула.

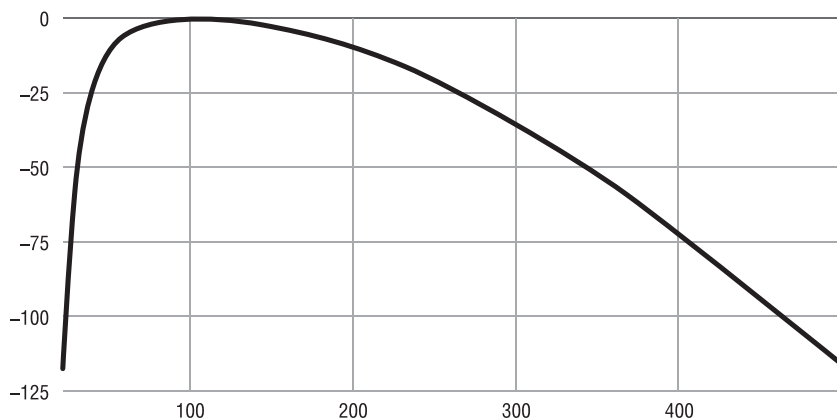
Характеристика «непостоянная» здесь означает, что «постоянной» (хотя и как любая упущенная выгода — условной) потеря станет только при выводе активов из пула ликвидности; до вывода активов из пула относительные цены могут вернуться к прежнему уровню, устранив тем самым непостоянную потерю.

Непостоянная потеря — по-видимому, частный случай упущенной выгоды и неблагоприятного отбора (adverse selection)²⁴, возможных на любом рынке при неблагоприятной динамике цен. Однако особенность непостоянной потери состоит в том, что она возникает не при неблагоприятных ценах, а при любом изменении количественной пропорции пула ликвидности, или относи-

²³ Буквально — «накачка и сброс»: искусственное повышение цены (pump) с последующей продажей (dump) по завышенной цене, после чего цена обычно падает (возвращается к равновесной), а инвесторы, купившие задорого, несут убытки.

²⁴ Неблагоприятный отбор применительно к инвесторам здесь означает увеличение доли подешевевших токенов в пуле, сходное по смыслу, например, с покупкой маркет-мейкером акций, цена которых впоследствии упала [Barbon, Rinaldo, 2022].

тельной цены токена, из-за того что так устроена модель АММ (рис. 4). По сути, непостоянная потеря — это не столько экономический, сколько микроструктурный феномен.

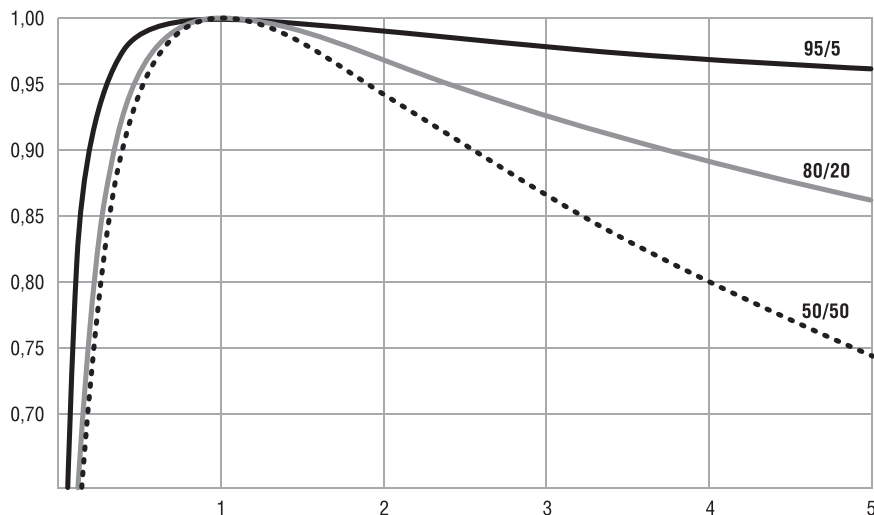


Источник: <https://thorchain.medium.com/thorchains-immunity-to-impermanent-loss-8265a59066a4>.

Рис. 4. Непостоянные потери инвесторов в зависимости от изменения относительной цены

Fig. 4. Impermanent Loss to Investors Depending on Changes in Relative Prices

Среди мер по минимизации непостоянной потери — создание пулов из менее волатильных токенов и изменение дизайна LP: отказ от стоимостной пропорции 50/50 (рис. 5) и расширение состава актива (больше двух видов токенов).



Источник: <https://medium.com/coinmonks/understanding-impermanent-loss-9ac6795e5baa>.

Рис. 5. Непостоянные потери участников LP в зависимости от стоимостной пропорции пула

Fig. 5. Impermanent Loss to Investors Depending on a Pool's Value Proportions

Уязвимость смарт-контрактов. Как отмечалось выше, зависимость цен в LP исключительно от количественной пропорции активов увеличивает вероятность отклонения (в том числе рукотворного) этих цен от рыночных уровней, а ставка главным образом (если вообще не исключительно) на арбитражеров повышает неопределенность в сроках возврата к равновесию и тем самым создает особо благоприятную почву для действий предприимчивых трейдеров, играющих на разнице цен (нередко ими же и созданной) для вывода активов из пула.

Нельзя сказать, что создатели пулов совсем уж никак не учитывают такие риски. Однако попытки контрмер ведут к еще большему усложнению соответствующих смарт-контрактов, что, в свою очередь, увеличивает риск ошибок. Показательный пример — получившая известность недавняя (октябрь 2021 года) атака на индексные пулы ликвидности Indexed Finance, из которых в результате алгоритмической неточности было выведено активов на сумму около 12 млн долл.

5. АММ в контексте «дилеммы инноватора»

Согласно известной «дилемме инноватора» (the Innovator's Dilemma) [Кристенсен, 2004], концепции того, как и почему сегодняшние инноваторы теряют свои позиции, несмотря на то что вроде бы делают всё по правилам, существует важное различие между поддерживающими технологиями, улучшающими качество существующих продуктов в пределах технических характеристик, важных для основных потребителей на главных рынках, и подрывными технологиями, приносящими на рынок совершенно новые предложения. При этом именно развитие подрывных технологий приводит к вытеснению сегодняшних инноваторов с рынка²⁵.

Можно ли считать модель АММ в принципе применимой для традиционных финансовых рынков и если да, то станет ли она поддерживающей или подрывной технологией?

Как представляется, применимость АММ для TradFi в ближайшее время достаточно сомнительна: чтобы модель АММ рассма-

²⁵ Собственно дилемма (сочетание двух противоположных тезисов) инноватора состоит в том, что, с одной стороны, если подрывная технология развивается вне сегодняшнего инноватора, то есть компании, ранее добившейся успеха и теперь эксплуатирующей поддерживающую технологию (которая раньше, возможно, была подрывной), то это может привести к вытеснению инноватора с рынка; с другой стороны, если подрывная технология развивается самим инноватором, то это может привести к каннибализации его нынешних успешных продуктов.

тривалась в качестве реального конкурента непрерывному аукциону и другим торговым протоколам TradFi, необходимы для начала преодоление ее проблем и доказательство ее масштабируемости.

Однако если и когда проблемы АММ, хотя бы в их критической части, будут всё же преодолены и масштабируемость окажется достижимой, то при должной токенизации традиционных рынков идея автоматического маркет-мейкера может вызвать заинтересованный отклик в TradFi²⁶:

- хотя непрерывный аукцион является основным торговым протоколом (впрочем, не единственным, а сосуществующим, зачастую в рамках одной и той же биржи, с другими протоколами, в том числе с заключением сделок с маркет-мейкерами), сейчас происходит определенное переосмысление фактора времени в торговле в связи известными недостатками CLOB;
- деятельность традиционных маркет-мейкеров подвергается критике не только извне TradFi, но и внутри нее.

При этом мыслимы оба сценария: в первом сценарии АММ — поддерживающая технология, воспринятая TradFi и так или иначе взаимодействующая с биржевым стаканом (например, для малоликвидных инструментов); во втором сценарии АММ — подрывная технология, ведущая к пересмотру базовых принципов TradFi и прежде всего к утрате биржевым стаканом своей доминирующей роли и переносу ответственности за ценообразование с маркет-мейкеров как профессиональных и соответствующим образом регулируемых участников на рынок в целом: в части ценового арбитража — на трейдеров, в части формирования ликвидности — на участников пулов. Однако едва ли в обозримой перспективе рынки криптоактивов смогут навязать традиционной инфраструктуре рынка капитала такой пересмотр, и еще менее вероятно, что такой пересмотр будет осуществлен самой TradFi. Во-первых, в организацию непрерывного аукциона инвестированы большие средства и усилия, а его позиции как основного торгового протокола выглядят пока достаточно устойчивыми: высокая скорость заключения сделок (особенно на ликвидных рынках), транспарентность,

²⁶ Существует точка зрения, что только крипторынки способны стать полигоном для полномасштабного тестирования инновационных торговых моделей, в том числе АММ; в случае успешного тестирования такие модели могут распространиться и на традиционные рынки [Brown, 2022].

возможность управлять ценовыми рисками и т. п. Во-вторых, хотя в TradFi уже зримо существует тренд на демократизацию и дезинтермедиацию (прямой/спонсируемый доступ (direct/sponsored market access)), ретейлизация, «клиринг на клиентском уровне» (buy-side clearing) [Майоров, 2015] и др., а перенос ответственности за ценообразование этому тренду соответствует, не очевидно, что в среднесрочной перспективе традиционная инфраструктура рынка капитала будет готова или вынуждена продвинуться в этом направлении столь далеко.

Впрочем, и на эти контраргументы есть свое возражение: эмпирический анализ Клейтона Кристенсена показал, что подрывные (как окажется потом) технологии никогда — вплоть до того, как они завоевали конкурентное преимущество, то есть когда бороться с ними стало уже поздно, — не распознавались как реальная угроза²⁷. Станет ли модель автоматического маркет-мейкера исключением в этом смысле — покажет время.

Литература

1. Гребенкина А., Зубарев А. Перспективы использования смарт-контрактов в финансовой сфере // Экономическое развитие России. 2018. Т. 25. № 12. С. 32–43.
2. Кристенсен К. Дилемма инноватора. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004.
3. Майоров С. Клиринг на финансовых рынках. М.: Статистика России, 2015.
4. Майоров С. Концепции и практика микроструктурного подхода. Ч. 1 // Экономическая политика. 2019а. Т. 14. № 2. С. 110–141.
5. Майоров С. Концепции и практика микроструктурного подхода. Ч. 2 // Экономическая политика. 2019б. Т. 14. № 3. С. 96–109.
6. Майоров С. Цифровая трансформация инфраструктуры рынка капитала // Экономическая политика. 2020. Т. 15. № 5. С. 8–31.
7. Малкина М., Овчинников В. Рынок криптовалют: сверхреакция на новости и стадные инстинкты // Экономическая политика. 2020. Т. 15. № 3. С. 74–105.
8. Синельникова-Мурылева Е., Кузнецова М., Шилов К. Факторные модели доходности криптовалют: подход финансовой теории // Экономическая политика. 2022. Т. 17. № 1. С. 8–33.
9. Столбов М. К десятилетию рынка криптовалют: текущее состояние и перспективы // Вопросы экономики. 2019. № 5. С. 136–148.
10. Харченко Л. Клиринговые сертификаты участия — новый финансовый инструмент Московской Биржи // Проблемы современной экономики. 2016. Т. 58. № 2. С. 124–127.
11. Auer R., Frost J., Vidal Pastor J. M. Miners as Intermediaries: Extractable Value and Market Manipulation in Crypto and DeFi. BIS Bulletin. No 58. 2022.
12. Barbon A., Rinaldo A. On the Quality of Cryptocurrency Markets: Centralized Versus Decentralized Exchanges. University of St. Gallen, School of Finance Research Paper Forth-

²⁷ В «дилемме инноватора» показано, что конкурентные угрозы (подрывные технологии) обычно не появляются из ничего, а в течение того или иного периода времени сосуществуют с традиционными (поддерживающими) технологиями, будучи либо не распознанными вовсе, либо расцененными как не заслуживающие особого внимания (предложение «низкокачественных» услуг, ориентация на рыночные ниши и т. п.).

- coming, Swiss Finance Institute Research Paper No 22–38. 2022. March. <https://ssrn.com/abstract=3984897> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3984897>.
13. Black F. Toward a Fully Automated Stock Exchange. Part 1 // *Financial Analysts Journal*. 1971a. Vol. 27. No 4. P. 28–35.
 14. Black F. Toward a Fully Automated Stock Exchange. Part 2 // *Financial Analysts Journal*. 1971b. Vol. 27. No 6. P. 24–28.
 15. Brown A. No, Crypto Exchanges Are Not Like Stock Exchanges // *Bloomberg*. 2022. August 10. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2022-08-10/no-cryptocurrency-exchanges-are-not-like-stock-exchanges?srnd=premium-europe&sref=wgRWWeJL>.
 16. Harris L. *Trading and Exchanges: Market Microstructure for Practitioners*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2003.
 17. Hasenpusch T. *Clearing Services for Global Markets: A Framework for the Future Development of the Clearing Industry*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009.
 18. Heimbach L., Wattenhofer R. Eliminating Sandwich Attacks with the Help of Game Theory. Association for Computing Machinery. 2022. <https://doi.org/10.1145/3488932.3517390>.
 19. Lee R. *What Is an Exchange? The Automation, Management, and Regulation of Financial Markets*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2000.
 20. Lehar A., Parlour C. Decentralized Exchanges // SSRN. 2021. August 16. <https://ssrn.com/abstract=3905316>; <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3905316>.
 21. Mazorra B., Adan V., Daza V. Do Not Rug on Me: Zero-Dimensional Scam Detection // Cornell University. 2022. January 16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.07220>.
 22. Mohan V. Automated Market Makers and Decentralized Exchanges: A DeFi Primer // *Financial Innovation*. 2022. Vol. 8. No 20. <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00314-5>.
 23. Norman P. *Plumbers and Visionaries: Securities Settlement and Europe's Financial Market*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2007.
 24. Norman P. *The Risk Controllers: Central Counterparty Clearing in Globalised Financial Markets*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2011.
 25. Osborne C. These are the Flaws That Let Hackers Attack Blockchain and DeFi Projects // *ZDNET*. 2022. May 24. <https://www.zdnet.com/article/these-are-the-flaws-that-let-hackers-attack-blockchain-and-defi-projects/>.
 26. Re-DeFi-ning the Post Trade Landscape Within Capital Markets // *Ascendant Strategy*. 2022. April. https://www.ascendant-strategy.com/wp-content/uploads/2022/04/Re-DeFi-ning-the-post-trade-landscape-within-capital-markets.pdf?__cf_chl_tk=z1biz5.9yh4jiqcxHiWP4aX19ATC.pLSwLJ43XFOsQI-1654002515-0-gaNycGzNB6U.
 27. Rosov S., Preece R., Schlacht K. *Payment for Order Flow in the United Kingdom*. CFA Institute, 2016.

References

1. Grebenkina A. M., Zubarev A. V. Perspektivy ispol'zovaniya smart-kontraktov v finansovoy sfere [Prospects for Smart-Contracts Use in Financial Sphere]. *Ekonomicheskoe razvitie Rossii [Russian Economic Developments]*, 2018, vol. 25, no. 12, pp. 32–43.
2. Christensen C. *Dilemma innovatora [The Innovator's Dilemma]*. Moscow, Al'pina Business Books, 2004. (In Russ.)
3. Mayorov S. *Kliring na finansovykh rynkakh [Clearing in Financial Markets]*. Moscow, Statistika Rossii, 2015.
4. Mayorov S. Kontseptsii i praktika mikrostrukturnogo podkhoda. Ch. 1 [Market Microstructure Approach: A Review of Basic Concepts and Practices. Part 1]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2019a, vol. 14, no. 2, pp. 110–141.
5. Mayorov S. Kontseptsii i praktika mikrostrukturnogo podkhoda. Ch. 2 [Market Microstructure Approach: A Review of Basic Concepts and Practices. Part 2]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2019b, vol. 14, no. 3, pp. 96–109.

6. Mayorov S. Tsifrovaya transformatsiya infrastruktury rynka kapitala [Digital Transformation of Capital Market Infrastructure]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2020, vol. 15, no. 5, pp. 8-31.
7. Malkina M., Ovchinnikov V. Rynok kriptovalyut: sverkhreaktsiya na novosti i stadnye instinkty [Cryptocurrency Market: Overreaction to News and Herd Instincts]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 74-105.
8. Sinelnikova-Muryleva E., Kuznetsova M., Shilov K. Faktornye modeli dokhodnosti kriptovalyut: podkhod finansovoy teorii [Factor Models for Cryptocurrency Returns: A Financial Theory Approach]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 8-33.
9. Stolbov M. K desyatiletiyu rynka kriptovalyut: tekushchee sostoyanie i perspektivy [The Tenth Anniversary of the Cryptocurrency Market: Its Current State and Prospects]. *Voprosy ekonomiki*, 2019, no. 5, pp. 136-148.
10. Kharchenko L. Kliringovye sertifikaty uchastiya - novyy finansovyy instrument Moskovskoy Birzhi [Clearing Participation Certificates as a New Financial Instrument of the Moscow Exchange]. *Problemy sovremennoy ekonomiki [Actual Problems of Economics]*, 2016, vol. 58, no. 2, pp. 124-127.
11. Auer R., Frost J., Vidal Pastor J. M. Miners as Intermediaries: Extractable Value and Market Manipulation in Crypto and DeFi. *BIS Bulletin*, no. 58, 2022.
12. Barbon A., Rinaldo A. On the Quality of Cryptocurrency Markets: Centralized Versus Decentralized Exchanges. *University of St. Gallen, School of Finance Research Paper Forthcoming, Swiss Finance Institute Research Paper No. 22-38*, 2022, March. <https://ssrn.com/abstract=3984897> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3984897>.
13. Black F. Toward a Fully Automated Stock Exchange. Part 1. *Financial Analysts Journal*, 1971a., vol. 27, no. 4, pp. 28-35.
14. Black F. Toward a Fully Automated Stock Exchange. Part 2. *Financial Analysts Journal*, 1971b, vol. 27, no. 6, pp. 24-28.
15. Brown A. No, Crypto Exchanges Are Not Like Stock Exchanges. *Bloomberg*, 2022, August 10. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2022-08-10/no-cryptocurrency-exchanges-are-not-like-stock-exchanges?srnd=premium-europe&sref=wgRWWeJL>.
16. Harris L. *Trading and Exchanges: Market Microstructure for Practitioners*. Oxford, UK, Oxford University Press, 2003.
17. Hasenpusch T. *Clearing Services for Global Markets: A Framework for the Future Development of the Clearing Industry*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2009.
18. Heimbach L., Wattenhofer R. Eliminating Sandwich Attacks with the Help of Game Theory. *Association for Computing Machinery*, 2022. <https://doi.org/10.1145/3488932.3517390>.
19. Lee R. *What Is an Exchange? The Automation, Management, and Regulation of Financial Markets*. Oxford, UK, Oxford University Press, 2000.
20. Lehar A., Parlour C. Decentralized Exchanges. *SRRN*, 2021, August 16. <https://ssrn.com/abstract=3905316> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3905316>.
21. Mazorra B., Adan V., Daza V. Do Not Rug on Me: Zero-Dimensional Scam Detection. *Cornell University*, 2022, January 16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.07220>.
22. Mohan V. Automated Market Makers and Decentralized Exchanges: A DeFi Primer. *Financial Innovation*, 2022, vol. 8, no. 20. <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00314-5>.
23. Norman P. *Plumbers and Visionaries: Securities Settlement and Europe's Financial Market*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, 2007.
24. Norman P. *The Risk Controllers: Central Counterparty Clearing in Globalised Financial Markets*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, 2011.
25. Osborne C. These Are the Flaws That Let Hackers Attack Blockchain and DeFi Projects. *ZDNET*, 2022, May 24. <https://www.zdnet.com/article/these-are-the-flaws-that-let-hackers-attack-blockchain-and-defi-projects/>.

26. Re-DeFi-ning the Post Trade Landscape Within Capital Markets. *Ascendant Strategy*, 2022, April. https://www.ascendant-strategy.com/wp-content/uploads/2022/04/Re-De-Fi-ning-the-post-trade-landscape-within-capital-markets.pdf?__cf_chl_tk=z1biz5.9yh4JiqcxHiWP4aX19ATC.pLSwLJ43XFOsQI-1654002515-0-gaNycGzNB6U.
27. Rosov S., Preece R., Schlacht K. *Payment for Order Flow*. CFA Institute, 2016.