

УДК 004.051, 336.76

## СТРАТЕГИЯ МАРКЕТ-МЕЙКИНГА В СИСТЕМЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ТОРГОВЛИ

А.В. Торопов<sup>а, б</sup>

<sup>а</sup> Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, toropov@rain.ifmo.ru

<sup>б</sup> Tbricks AB, Санкт-Петербург, Россия, tav@tbricks.com

Маркет-мейкер – важнейший участник современной биржевой торговли, обеспечивающий повышение ликвидности рынка и уменьшение спреда между ценой покупки и продажи. В работе представлена автоматическая стратегия маркет-мейкера для котирувания опционов и других финансовых инструментов на электронных биржах. Котировки инструментов рассчитываются на основе их теоретической стоимости, что является ресурсоёмким вычислением. Для обеспечения смены котировок в режиме реального времени предложены алгоритмические оптимизации, позволившие добиться четырехкратного ускорения смены котировок в рыночных условиях – механизма кэширования котировок в заданном диапазоне вокруг текущей цены базового актива. Механизм кэширования предварительно рассчитывает котировки в заданном диапазоне вокруг текущей цены базового актива. При изменении цены на рынке в пределах диапазона стратегия отправляет на биржу готовое сообщение о смене котировок вместо выполнения нового трудоемкого расчета. Сглаживание колебаний цены базового актива позволяет избежать постоянного изменения границ диапазона и реагировать только на существенные движения рынка. Экспериментально определен размер кэшируемого диапазона (40 элементов), обеспечивающий оптимальное соотношение скорости смены котировок и потребляемых ресурсов. При котирувании 36 опционов на рынке Eurex Exchange средняя задержка смены котировок при изменении цены базового актива составила 277 мкс. Замеры производились на сервере Sun X4170 M3: CPU(s): 2xXeon 2.9 ГГц RAM: 128 ГБ под управлением операционной системы Solaris 10. Полученные результаты соответствуют современным требованиям маркет-мейкеров. Разработанная стратегия используется крупными европейскими банками и трейдинговыми фирмами.

**Ключевые слова:** алгоритмическая торговля, маркет-мейкинг, котирувание.

## MARKET-MAKING STRATEGY IN THE SYSTEM OF ALGORITHMIC HIGH-FREQUENCY TRADING

А. Торопов<sup>с, d</sup>

<sup>с</sup> Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, toropov@rain.ifmo.ru

<sup>d</sup> Tbricks AB, Saint Petersburg, Russia, tav@tbricks.com

Market maker is the most important participant of modern exchange trading, it provides the increase of market liquidity and reduces the difference between bid and ask (spread). The paper presents automatic market-making strategy for quoting of options and other kinds of financial instruments on electronic markets. Quotes are based on theoretical pricing which is a resource-intensive task. Presented algorithmic optimizations, in particular quotes caching and smoothing of underlying asset price oscillation, give the possibility up to four times boost for quote modify scenario on real market data. Mechanism of quotes caching precalculates quotes in certain diapason around current underlying price. If underlying price changes within the diapason, algorithm sends already filled message for quote modification, instead of new complex computation. Smoothing of underlying asset price oscillation prevents permanent moving of the diapason and reacts only on significant market moving. A size of caching diapason which provides optimal correlation between speed of quotes modification and resource consumption has been defined experimentally (40 elements). In case of quoting 36 options on Eurex Exchange an average delay between underlying price change and quote modification is 277 usec. The measurements were carried out on the Sun X4170 M3: CPU(s): 2xXeon 2.9GHz RAM: 128 GB server under Solaris 10 operating system. Obtained results correspond to modern market-making requirements. The developed strategy is used by big European banks and trading firms.

**Keywords:** algorithmic trading, market-making, quota system.

### Введение

Алгоритмическая торговля (algorithmic trading) – процесс совершения сделок на финансовых рынках в автоматическом режиме с помощью специализированных компьютерных программ, реализующих различные торговые стратегии – алгоритмы принятия решений о совершении торговых операций. Такие программы называют автоматическими торговыми стратегиями. Одной из наиболее популярных на сегодняшний день стратегий на рынке является маркет-мейкинг.

Маркет-мейкер (market-maker) – один из важнейших участников биржевой торговли, берущий на себя риск приобретения и хранения ценных бумаг с целью организации их продаж. Маркет-мейкер заключает с биржей контракт, согласно которому он обязан выставлять активные заказы на покупку и продажу (котирувать, от quoting) определенной группы финансовых инструментов, как правило, группы опционов на определенный базовый актив, в течение торгового времени. Такие соглашения оговаривают максимальную разницу между ценой покупки и продажи (спред, от spread), штрафы за невыполнение условий и т.д. От биржи маркет-мейкер получает либо денежную компенсацию, либо уменьшенную комиссию на заключение сделок, что дает ему возможность вести торговую деятельность с меньшими издержками [1]. Пример обязательств маркет-мейкера на рынке Eurex можно найти, например, в [2].

В условиях нестабильной экономической ситуации в мире крупнейшие биржи, такие как NYSE, NASDAQ, EUREX, LSE, CME и многие другие, для повышения лояльности инвесторов привлекают сотни маркет-мейкеров, которые ежедневно котируют десятки тысяч финансовых инструментов [3]. Основной задачей маркет-мейкера является повышение ликвидности котируемых инструментов и уменьшение спреда между ценой покупки и продажи. Большое количество активных маркет-мейкеров способствует приближению цены при больших объемах сделки к лучшей на рынке и понижению волатильности [4].

Задачей настоящей работы являлась разработка программного обеспечения для осуществления деятельности маркет-мейкеров в автоматическом режиме на ведущих мировых электронных финансовых рынках с учетом всех современных требований к такой функциональности. В качестве основы для разработки был взят программный комплекс для алгоритмической торговли компании Tbricks AB [5]. Система Tbricks представляет собой распределенную систему с клиент-серверной архитектурой, разделенную на отдельные сервисы. Ее специфическими особенностями являются: широкие функциональные возможности, покрывающие требования различных финансовых организаций; поддержка протоколов для соединения с ведущими мировыми финансовыми рынками; хорошая масштабируемость; эффективная работа на любом количестве серверов (успешный опыт использования от 1 до 20 серверов с 8–24 CPU каждый); автоматическое перераспределение нагрузки (load-balancing) [5].

### Алгоритм выбора котировок

Главным вопросом при создании стратегии маркет-мейкера становится выбор цен для котировок, так как торговля по необоснованным ценам может принести серьезные убытки. Естественное решение здесь – базирование котировок на теоретической стоимости финансового инструмента. Теоретическое ценообразование позволяет получить справедливую стоимость [6, 7], которая определяет рациональную, свободную от арбитражных возможностей оценку потенциальной рыночной стоимости финансового инструмента, принимающую во внимание объективные рыночные факторы (цена базового актива, время жизни инструмента, финансовая ставка, дивиденды и др.). Такая теоретическая оценка позволяет, например, правильно застраховать свои риски путем хеджирования сделок [7].

На современных биржах торгуется множество видов финансовых инструментов: европейские и американские опционы [6, 7], экзотические (exotic) опционы (азиатские, барьерные опционы и турбо варранты) [6] и многие другие. Известны различные подходы к вычислению справедливой стоимости этих финансовых инструментов, приводящие к аналитическим или численным методам расчета [6, 8]. Стоит отметить, что часто теоретическая оценка является ресурсоемким вычислением и требует относительно больших временных затрат [9]. Более подробно о теоретическом ценообразовании можно узнать в [6–8], а о его применении в автоматических торговых стратегиях – в [10].

Схема алгоритма выбора котировок, реализованного нами, проиллюстрирована на рис. 1. Базовый инструмент торгуется на рынке по цене покупки  $S_b$  и продажи  $S_a$ . Соответствующие теоретические цены покупки  $V_b(S_b)$  и продажи  $V_a(S_a)$  производного инструмента раздвигаются в меньшую и большую сторону до значений  $M_b$  и  $M_a$  соответственно, чтобы обеспечить задаваемый маркет-мейкером спред. Разница между теоретическими ценами ( $V_b$  или  $V_a$ ) и соответствующими им котировками ( $M_b$  и  $M_a$  соответственно) включает в себя всевозможные риски, ожидаемый доход от сделок, учитывает текущую волатильность рынка.

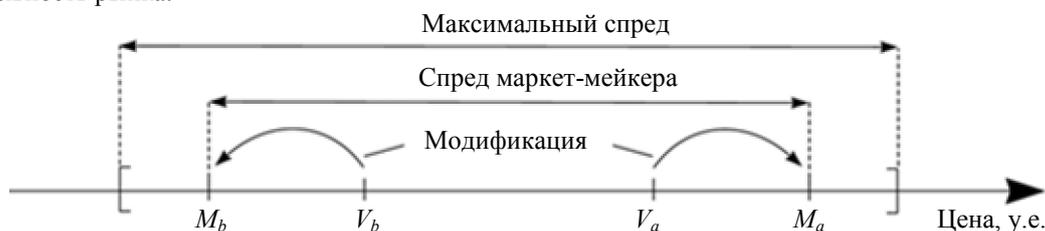


Рис. 1. Схема алгоритма выбора котировок на основе теоретической цены

Детальная настройка стратегии включает более 70 параметров, среди которых величина спреда маркет-мейкера, минимальный и максимальный объем выставляемых котировок, максимальный объем купленных или проданных активов, максимальное количество совершенных сделок в определяемый временной интервал и др.

### Алгоритм обновления котировок

Важным требованием при таком подходе к выбору котировок является высокая скорость расчета теоретической стоимости при изменении цены базового актива. Задержки в расчете приводят к котируванию инструментов по устаревшим ценам и соответственно могут принести убытки маркет-мейкеру.

Часто теоретическая стоимость не может быть посчитана за удовлетворительное время, поэтому нами был предложен алгоритм кэширования котировок.

Алгоритмом предварительно рассчитываются теоретические значения для диапазона  $[S_{-k}, S_{-k+1}, \dots, S_{-1}, S_0, S_1, \dots, S_{k-1}, S_k]$  вокруг текущей цены базового актива  $S_0$ , на их основе рассчитываются котировки и кэшируются в памяти. Разница между соседними ценами в диапазоне определяется минимальным шагом, заданным биржей. При изменении цены на базовый актив с  $S_0$  на  $S_1$  стратегии достаточно отправить на рынок уже готовое сообщение об изменении котировок на заранее посчитанные значения. При изменении цены на  $S_1$  весь диапазон сдвигается вправо, так что текущая цена базового актива  $S_1$  становится его центром. При этом котировки, посчитанные для цены актива  $S_{-k}$ , стираются из кэша, а котировки для цены  $S_{k+1}$  рассчитываются в фоновом режиме и помещаются в кэш (рис. 2). Количество предварительно рассчитанных котировок  $N = 2 \cdot k$  называется размером кэша. При существенном движении рынка новая цена  $S$  не попадает в пределы кэшируемого диапазона ( $S < S_{-k}$  или  $S > S_k$ ). Тогда необходимо вычислить теоретические значения для цены  $S$ , рассчитать на их основе котировки, отослать сообщение на биржу и перестроить диапазон вокруг цены  $S$ . Смена котировок в этом случае занимает намного больше времени по сравнению с поиском кэшированных котировок. В разделе «Анализ производительности» мы покажем, что при правильно выбранном  $N$  доля непопаданий в кэш в реальных рыночных условиях мала.

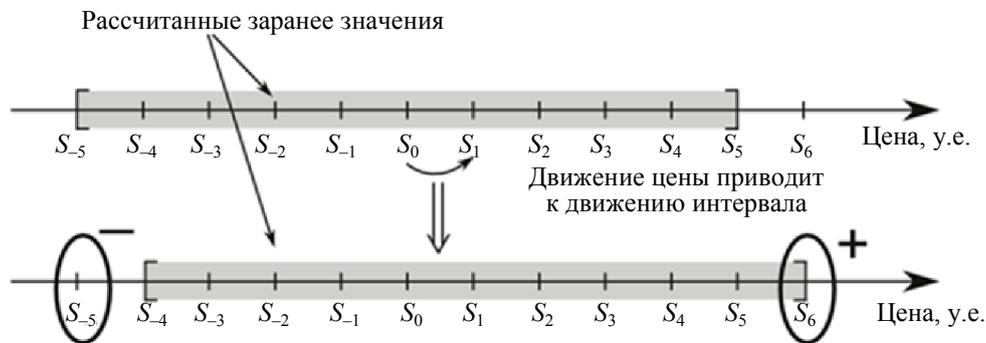


Рис. 2. Алгоритм кэширования котировок при  $N = 10$

Чтобы избежать частого изменения границ диапазона в связи с малыми колебаниями цены на рынке, был применен механизм реагирования только на существенные движения цены.

Пусть  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m, \dots$  – последовательность цен акции. Определим величину  $H_m$ :

$$H_m = \sum_{i=1}^{m-1} (S_{i+1} - S_i) \cdot$$

Когда цена акции осциллирует вокруг некоторого уровня, значение  $H_m$  близко к нулю. Если же уровень цены акции существенно движется в большую или меньшую сторону, абсолютное значение  $|H_m|$  увеличивается. Когда оно превысит задаваемый порог  $M$ , границы диапазона сдвигаются (рис. 2).

### Анализ производительности

Анализ производительности реализованных в работе алгоритмов заключался в измерении полного времени, затрачиваемого на смену котировок при изменении цены базового актива. Это время от поступления сообщения об изменении цены базового актива в систему алгоритмической торговли до отправки сообщения на биржу с измененными котировками (рис. 3). Результаты позволяют оценить влияние предлагаемых оптимизаций на работу маркет-мейкера в реальных рыночных условиях.

В качестве источника цен взяты котировки акции компании Volvo AB на рынке NASDAQ OMX Nordic [11] за 6 августа 2012 г. Отправка котировок производилась на рынок Eurex ETI 2.0 [12]. Для анализа использован сервер Sun X4170 M3: CPU(s): 2xXeon 2.9GHz RAM: 128 GB, под управлением операционной системы Solaris 10. На основе фреймворка динамической трассировки DTTrace [13] был создан скрипт, позволяющий измерить минимальное, максимальное и среднее время между поступлением новой цены с биржи и отправкой котировок.

В таблице приведено минимальное, среднее и максимальное время смены котировок на 36 американских опционов (18 опционов типа колл и 18 типа пут [6]) при выключенном алгоритме кэ-

ширования ( $N = 0$ ) и размерах кэша  $N = 10, 20, 40, 45$ . Колонка «Попадание в кэш» показывает долю измерений, когда после изменения цена на базовый актив осталась в пределах кэшируемого диапазона.

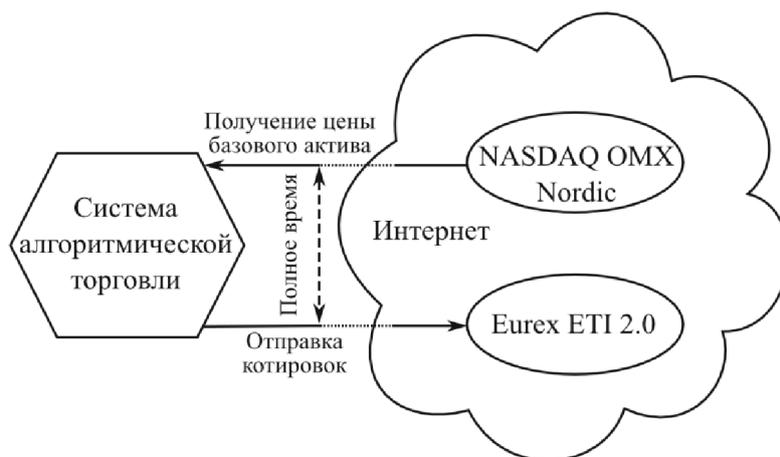


Рис. 3. Схема измерения производительности работы маркет-мейкера

Под выбросами (колонка «Выбросы» в таблице) понимается доля замеров, отработавших 1,5–2 и более миллисекунд в связи с задержками в работе операционной системы (например, задержки при возвращении управления потоку при системных вызовах, загрузка исходного кода в кэш при кросс-библиотечных вызовах и др.), а также за счет сетевых подключений, проб DTtrace и других причин, не зависящих от системы алгоритмической торговли. Данные выбросов не учитывались при вычислении среднего и максимального времени смены котировок.

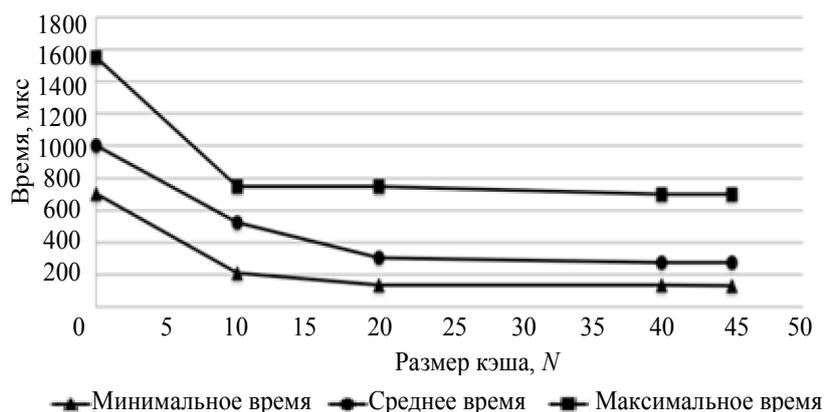


Рис. 4. Зависимость минимального, среднего и максимального времени от размера кэша

Размер кэша	Минимальное время, мкс	Среднее время, мкс	Максимальное время, мкс	Попадание в кэш, %	Выбросы, %
0	702	1001	< 1600	0%	5,83%
10	209	524	< 800	1,54%	0,44%
20	136	308	< 800	77,6%	0,41%
40	134	276	< 800	94,07%	0,14%
45	132	277	< 800	94,43%	0,15%

Таблица. Скоростные характеристики смены котировок

На рис. 4 изображена зависимость минимального, среднего и максимального времени от размера кэша. Из таблицы и графика (рис. 4) видно, что при размере кэша  $N \geq 40$  среднее время работы не превышает 280 мкс и практически не изменяется. На рис. 5 изображены зависимости доли попадания в кэш и выбросов от размера кэша. Как видно из графика (рис. 5), при  $N \geq 40$  попадание в кэш стремится к 95%, а доля выбросов к 0%. Опираясь на эти данные, нами даны рекомендации по выбору размера кэшируемого диапазона  $N = 40$ .

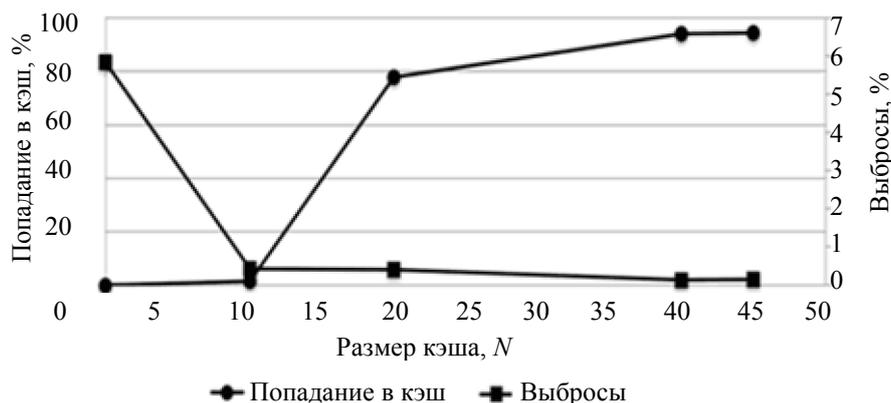


Рис. 5. Зависимость доли попаданий в кэш и доли выбросов от размера кэша

### Заключение

На основе инфраструктуры компании Tbricks AB разработана стратегия для осуществления деятельности маркет-мейкеров в автоматическом режиме на ведущих мировых электронных финансовых рынках [14]. Предложенный оптимизированный алгоритм смены котировок позволил обеспечить среднюю задержку менее 280 мкс и пренебрежимо малую долю выбросов при рекомендованном автором размере кэша  $N = 40$ . Полученные характеристики соответствуют современным требованиям маркет-мейкеров к системам высокочастотной алгоритмической торговли и являются конкурентоспособными на ведущих мировых финансовых рынках. Разработанная стратегия успешно применяется клиентами компании Tbricks AB – крупными европейскими банками и трейдинговыми фирмами [15–17].

Автор признателен научному руководителю д.ф.-м.н. Ю.А. Шполянскому за чтение рукописи статьи и полезные замечания, М.А. Святухиной за помощь в проведении тестирования, коллегам в компании Tbricks AB за плодотворное сотрудничество по тематике работы.

### References

1. Investopedia. *Electronic Trading: The Role of a Market Maker*. Available at: <http://www.investopedia.com/university/electronictrading/trading3.asp> (accessed 18.10.2013).
2. Eurex Exchange. *Market Makers Obligations at Eurex*. Available at: [http://www.eurexexchange.com/blob/exchange-en/62496/650910/2/data/obligations\\_13\\_10\\_01e.pdf](http://www.eurexexchange.com/blob/exchange-en/62496/650910/2/data/obligations_13_10_01e.pdf) (accessed 18.10.2013).
3. NYSE Liffe. *Current liquidity providers and vacant places*. Available at: [https://globalderivatives.nyx.com/sites/globalderivatives.nyx.com/files/current\\_liquidity\\_providers\\_and\\_vacant\\_places\\_website\\_9.xls](https://globalderivatives.nyx.com/sites/globalderivatives.nyx.com/files/current_liquidity_providers_and_vacant_places_website_9.xls) (accessed 18.10.2013).
4. JSE Securities Exchange. *The Role of a Market Maker*. Available at: [http://www.jse.co.za/Libraries/Commodity\\_Derivatives\\_Products\\_Quanto\\_Futures\\_Options/Market\\_Making\\_Quanto\\_Futures.sflb.ashx](http://www.jse.co.za/Libraries/Commodity_Derivatives_Products_Quanto_Futures_Options/Market_Making_Quanto_Futures.sflb.ashx) (accessed 18.10.2013).
5. Tbricks AB. *Official website*. Available at: <http://www.tbricks.com> (accessed 18.10.2013).
6. Wilmott P. *Paul Wilmott on Quantitative Finance*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, Ltd., 2006, vol. 1–3, 1500 p.
7. Hull J.C. *Options, futures and other derivatives*. 7<sup>th</sup> ed. Prentice-Hall International, Inc, 2009, 814 p.
8. Haug E.G. *The complete guide to option pricing formulas*. 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill, 2007, 536 p.
9. Kosyakov M.S., Shinkaruk D.N., Toropov A.V., Shpolyanskiy Yu.A. Primenenie tekhnologii CUDA dlya uskoreniya rascheta tsen optisonov evropeiskogo tipa setochnym metodom [Use CUDA technology to accelerate the calculation of the prices of a European option type grid method]. *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 2012, vol. 55, no. 10, pp. 13–19.
10. Toropov A.V., Ivanov D.V., Shpolyanskiy Yu.A. Primenenie teoreticheskogo tsenoobrazovaniya optisonov v avtomaticheskikh torgovykh strategiyakh [Application of theoretical options pricing to algorithmic trading strategies]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 2 (84), pp. 136–141.
11. NASDAQ OMX Nordic. *Official website*. Available at: <http://www.nasdaqomxnordic.com> (accessed 18.10.2013).
12. Eurex Exchange. *Official website*. Available at: <http://www.eurexexchange.com/exchange-en/> (accessed 18.10.2013).
13. Oracle. *Solaris Dynamic Tracing Guide*. Available at: <http://docs.oracle.com/cd/E19253-01/817-6223/> (accessed 18.10.2013).
14. Tbricks AB. *Market making solution*. Available at: <http://www.tbricks.com/solutions/market-making> (accessed 18.10.2013).
15. Tbricks AB. *Tbricks wins market making platform deal from All Options*. Available at: <http://www.tbricks.com/company/news#tbricks-wins-market-making-platform-deal-from-all-options> (accessed 18.10.2013).

14. *Tbricks AB. Market making solution.* Available at: <http://www.tbricks.com/solutions/market-making> (accessed 18.10.2013).
15. *Tbricks AB. Tbricks wins market making platform deal from All Options.* Available at: <http://www.tbricks.com/company/news#tbricks-wins-market-making-platform-deal-from-all-options> (accessed 18.10.2013).
16. *Tbricks AB. Carnegie chooses Tbricks, replaces legacy system for market making.* Available at: <http://www.tbricks.com/#carnegie-chooses-tbricks> (accessed 18.10.2013).
17. *Tbricks AB. Nino Options chooses Tbricks for market making and trading.* Available at: <http://www.tbricks.com/#nino-options-chooses-tbricks-for-market-making-and-trading> (accessed 18.10.2013).

- Торопов Александр Владимирович* – Аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; инженер-программист, Tbricks AB, Санкт-Петербург, Россия, [tav@tbricks.com](mailto:tav@tbricks.com), [toropov@rain.ifmo.ru](mailto:toropov@rain.ifmo.ru)
- Alexander Toropov* – Postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia; software engineer, Tbricks AB, Saint Petersburg, Russia, [tav@tbricks.com](mailto:tav@tbricks.com), [toropov@rain.ifmo.ru](mailto:toropov@rain.ifmo.ru)