

«УТВЕРЖДАЮ»

Врио. директора ИПМИ КарНЦ РАН
к.т.н. Тихомирова Т.П.



04.06.2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН
на диссертационную работу **Чертока Андрея Викторовича**

«Моделирование потоков заявок на финансовых рынках с помощью обобщенных
процессов риска», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.01.05 – «Теория вероятностей и
математическая статистика» в Диссертационный совет Д 501.001.44 при Московском
государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Диссертационная работа Чертока А.В. посвящена разработке и анализу
вероятностных моделей потоков в так называемых книгах заявок, описывающих
динамику высокочастотных (быстро меняющихся) данных в системах электронных
торгов. Тем самым для исследования привлекаются методы анализа систем с очередями
специального вида.

Актуальность темы диссертации. Актуальность темы связана с возникшей
относительно недавно доступностью огромного числа высокочастотных данных,
описывающих потоки заявок на финансовых рынках, а также важностью решения
прикладных задачи, опирающихся на эти данные. Острая потребность разработки
соответствующих вероятностно-статистических моделей и методов их анализа вызвана
интенсивным развитием электронных торгов и быстро возрастающим объемом данных, а
также усложнением вероятностной структуры потоков данных. В этой связи большой
теоретический интерес представляет изучение вероятностной динамики *книги заявок*,
которую можно рассматривать как стохастическую систему обслуживания специального
вида. В рассматриваемой диссертации содержится значительное продвижение в
исследовании упомянутых проблем.

Основные результаты. В предшествующих работах, в качестве входных
процессов рассматривались, в основном, марковские процессы с постоянными
интенсивностями, а также вводились достаточно ограничительные предположения,
затрудняющие практическое применение этих моделей. Поэтому одним из наиболее
существенных результатов диссертационной работы является разработка новой
существенно более общей модели динамики книги заявок, как системы обслуживания с
неоднородными интенсивностями входных потоков заявок. Более того, вместо
традиционных процессов, используемых для описания систем обслуживания, автор
развивает более адекватный данной задаче подход, основанный на анализе так
называемого *процесса дисбаланса* потока заявок.

В диссертации далее показано (глава 1), что в качестве наиболее адекватной
математической модели процесса дисбаланса потоков заявок можно использовать
двухсторонние процессы риска, т.е., процессы риска со случайными премиями. Кроме
того, в работе предложено мультипликативное представление интенсивностей потоков

заявок, что позволило свести задачу к анализу смесей по единственному параметру – дисперсионно-сдвиговых смесей нормальных законов. В свою очередь, с помощью доказанных в диссертации предельных теорем это позволило интерпретировать такие смеси как асимптотические аппроксимации допредельных случайных блужданий и рассмотреть процесс дисбаланса потоков заявок как специальный обобщённый процесс Кокса (обобщенный дважды стохастический пуассоновский процесс).

В теоретическом отношении наиболее интересным и глубоким является асимптотический анализ построенной модели процесса дисбаланса потока заявок на основе доказательства ряда функциональных предельных теорем о сходимости (в пространстве Скорохода) процесса дисбаланса потоков заявок в схеме серий к процессам Леви. Необходимо отметить доказанные (в главе 2) теоремы о сходимости процессов дисбаланса потоков заявок с элементарными скачками (и конечной дисперсией) к процессам Леви с распределениями, имеющими вид дисперсионно-сдвиговых смесей нормальных одномерных распределений. Как частный случай в пределе возникает обобщённый гиперболический процесс Леви.

В заключительной главе 3 на основе разработанной модели процесса дисбаланса потоков заявок предложена математическая модель так называемой токсичности потоков заявок, описывающая тонкий эффект, наблюдаемый, когда, на фоне благополучных интегральных показателей, возникают соотношения заявок, которые могут в близкой перспективе привести к неблагоприятной ситуации. В этой главе введены байесовский и квантильный показатели токсичности, которые могут быть получены на основе параметров поступающих на рынок потоков заявок. Наконец, в данной главе описана процедура оценки показателя токсичности в режиме реального времени.

Научная новизна. В работе предложена новая модель потоков заявок с неоднородными интенсивностями, введен процесс дисбаланса потоков заявок, а также рассмотрена его математическая модель в виде обобщённых процессов риска. Это в свою очередь, позволило развить функциональные предельные теоремы для обобщенных процессов Кокса, у которых скачки имеют конечную дисперсию и несимметричное распределение. В работе разработаны аналитические показатели токсичности потоков заявок как аналог вероятности неразорения в математической модели процессов риска со случайными премиями; проведены экспериментальные исследования предложенных подходов на примере важных практических задач.

Хотелось бы специально отметить, что предложенные в работе новые модели, возникающие из анализа финансового рынка, могут оказаться очень полезным инструментом в анализе широкого класса систем обслуживания в их традиционном понимании (т.е. вычислительных и телекоммуникационных систем), поскольку потоки данных в современных вычислительных центрах являются столь же сложными и высокочастотными. В этой связи отметим, что рассмотренный в работе процесс дисбаланса $OFI(t)$ (см. формулу (1.16)) близок к хорошо известному в теории очередей процессу текущей загрузки (workload), однако является более сложным, из-за допускаемой зависимости между «входным» и «выходным» процессами. С другой стороны, аналогия между рассматриваемыми моделями и системами обслуживания может дать дополнительный импульс к использованию хорошо развитых методов теории очередей для анализа динамики финансовых рынков.

Обоснованность результатов. Обоснованность теоретических результатов вытекает из корректности представленных доказательств теорем, а достоверность

практических рекомендаций следует из подробных описаний алгоритмов и проведенных экспериментов.

Практическое значение работы. Практическая значимость диссертационной работы состоит в возможности использования предлагаемых подходов в системах финансового риск-менеджмента, в системах анализа рыночной активности, используемых финансовыми регуляторами, при анализе состояния рынка и для оптимального исполнения заявок. Разработанный метод вычисления показателя токсичности на основе процесса дисбаланса потоков заявок позволяет своевременно выявлять токсичную ликвидность и предупреждать ценовые шоки в режиме реального времени. Большое значение имеет очень хорошее соответствие построенных моделей реальным процессам наблюдаемым на финансовых рынках, что убедительно продемонстрировано в диссертации (в частности, в Главе 3).

Рекомендация по использованию и развитию результатов. Математические модели, используемые в диссертационной работе, могут быть распространены на широкий спектр задач, включая анализ высоконагруженных телекоммуникационных систем и систем массового обслуживания. Теоретические результаты, полученные в работе, могут быть распространены на многомерный случай. Кроме того, результаты работы могут быть востребованы в исследовательской и практической работе в экономических и финансовых организациях, а также ЦЭМИ РАН, ФИЦ ИУ РАН, МИ РАН, РАНХиГС, Высшей школе экономики. Часть результатов работы, без сомнения, может быть использована при чтении соответствующих спецкурсов на факультете ВМК, Мехмате, экономическом факультете МГУ, РАНХиГС и других университетов РФ, где готовятся специалисты по анализу финансовых рынков и по финансовой математике.

Математические модели, используемые в диссертационной работе, могут быть распространены на широкий спектр задач, включая анализ высоконагруженных телекоммуникационных систем и систем массового обслуживания. Теоретические результаты, полученные в работе, могут быть распространены на многомерный случай. Кроме того, без сомнения, часть результатов может быть (востребована) использована при чтении соответствующих спецкурсов на факультете ВМК, Мехмате МГУ, в ЦЭМИ других университетов РФ, где готовятся специалисты по анализу финансовых рынков и по финансовой математике.

Приведем некоторые **замечания**, которые возникли при анализе работы:

- стр. 26-27 – точнее определить понятие потока (как процесса);
- стр. 33 – что такое $Q(1)=?$;
- на стр. 42 процесс дисбаланса, по-видимому, обозначен $Q(t)$, в то время как на стр. 27 – через $NOI(t)$;
- стр. 43. Лемма 1.1 – выполнение каких условий требуется в Лемме?

Отметим также некоторую вольность языка и использование ряда специальных («жаргонных») терминов, а также фраз, которые требуют пояснения (хотя иногда они становятся понятны из контекста), например, *максимальная дифференциальная энтропия* (стр. 8), *события, происходящие глубоко внутри книги заявок* (13), *лучшая котировка противоположного типа* (25), *внешний информационный фон* (28), *фиксированный поток информации, поступающий извне* (29), *«этот метод плох тем, что хорош...»* (34), *с.в. L, имеющая смысл внешнего новостного фона*, (35) *эмпирические исследования демонстрируют наличие значимых эффектов памяти у потоков заявок для малых T* (40), *текст на 2-й половине стр. 42 не вполне ясен.*

Работа содержит ряд неизбежных опечаток (например, на стр. 33, 34. 41; использование сокращения СРС дважды, на стр. 33 и ряд других) . Также на наш взгляд разумно было бы использовать принятые сокращения, например, с.в., х.ф.

Разумеется, отмеченные недостатки касаются, в основном, стиля изложения и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение. Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно на достаточном научном уровне. Представленные в работе исследования достоверны, результаты строго обоснованы.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Черток Андрей Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.05 – «Теория вероятностей и математическая статистика».

Отзыв заслушан и одобрен на расширенном заседании лаборатории математической кибернетики ИПМИ КарНЦ РАН 04.06.2015 г.

Ведущий научный сотрудник
Института прикладных математических исследований
Карельского Научного Центра
Российской Академии Наук
профессор, д.ф.-м. н.



Морозов Е.В.

Почтовый адрес: 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
Телефон: +7(8142)76-33-70
Адрес официального сайта: <http://mathem.krc.karelia.ru>
Электронный адрес: math@krc.karelia.ru

04.06.2015