

3. ОБЗОРЫ

3.1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТОРГОВЛИ ИНФОРМАЦИЕЙ

Козырев А. Н. – д.э.н., ЦЭМИ РАН, Москва

В статье на основе литературных источников дан краткий обзор научных исследований в области торговли информацией. Основное внимание в обзоре уделено работам на стыке информационных технологий и теории игр, ориентированным на реальные задачи, как правило, связанные с продажей информации в автоматизированном режиме.

Введение

С развитием цифровых технологий покупка и продажа информации приобрели беспрецедентные в истории торговли масштабы, прежде всего, благодаря появлению онлайн-рынков пользовательской информации. Агентства, зарабатывающие на сборе и предоставлении данных, продают рекламодателям информацию о пользователях, чтобы те могли более эффективно подбирать и размещать рекламу для вольных или невольных зрителей и читателей – потенциальных покупателей рекламируемых товаров и услуг. Примечательно, что ценность такой информации обусловлена нарастающим объемом навязываемой информации и, как следствие, нарастающим дефицитом внимания целевой аудитории (Wu, 2010, 2016). Рекрутинговые агентства, используя специальные платформы, продают потенциальным нанимателям информацию о специалистах, находящихся в поисках работы, при этом они могут решать, какие части профиля кандидата на работу раскрывать будущим работодателям, а какие нет. Никуда не исчезли и традиционные рынки информации, включая рынок технических ноу-хау и научных публикаций, развлекательной и новостной информации. Кроме того, торговля информацией фактически имеет место на обычных (неинформационных) рынках. Продавцы в значительной мере контролируют информацию, доступную покупателям. Бизнес-брокеры могут контролировать глубину знакомства с фирмой и документацией, которую они предоставляют, автомобильные ритейлеры могут ограничить продолжительность тест-драйва и объем технической предпродажной поддержки (Smolin, 2019).

Важно отметить, что, если мы говорим о продаже информации, то подразумеваем тем самым, что речь идет о полезной или, как минимум, желаемой информации. В конкретных ситуациях она может иметь разные названия, в том числе, это может быть «сигнал», «справка», «контент», «ноу-хау» или «знание». Далее к этому вопросу придется вернуться, поскольку он достаточно принципиален. За разными терминами стоят, вообще говоря, разные смыслы или, точнее, оттенки смысла. Однако при математическом моделировании эти различия во многом уходят на задний план, а на первый план выходят алгебраические свойства информации и ее полезность в конкретной ситуации. Наиболее ярко алгебраические свойства информации проявляются при ее представлении в цифровом формате. На уровне отдельных битов это «да» + «да» = «да». То же самое равенство выполняется для логических переменных, которые часто используются в математических моделях для представления информации и знаний (Arrow, 1962). В более общей форме то же свойство, называемое идемпотентностью сложения, определяется равенством $a + a = a$. Из него следуют многие известные свойства информации, к пониманию которых экономическая наука шла на протяжении нескольких десятилетий шаг за шагом. Этот путь неплохо описан в монографии (Detering, D., 2001), но лишь на немецком языке.

Следует также отметить, что практически во всех перечисленных выше сюжетах информация продается в пакете с чем-то еще, причем это может быть желаемая (например, новостная) информация в пакете с навязываемой информацией в виде рекламы или пропаганды (Wu, 2010), может быть полезная информация в сочетании с определенными обязательствами, а может быть что-то еще. Так или иначе, всегда действует пакетный принцип, хотя не всегда это явно видно. Это обстоятельство очень важно учитывать при моделировании торговли информацией, в том числе, при разработке оптимальных механизмов (протоколов) ее продажи (Babaioff, Kleinberg, and Paes Leme, 2012; Smolin, 2019).

Разумеется, параллельно росту рынков информации развивались и методы ее продажи, а также понимание того, как эти рынки и методы могут быть представлены в виде математических моделей, алгоритмов и, в конечном счете, в виде автоматизированных сетевых сервисов. При этом практика достаточно часто опережала теорию. Хороший обзор традиционных медиарынков с использованием математических моделей и многочисленными ссылками на теоретические работы дан в упоминавшейся выше монографии (Detering, D., 2001). К сожалению, эта работа не переведена ни на русский, ни на английский язык. Но, сегодня это уже не столь важно, поскольку она отражает уровень теории и практики, достигнутый примерно 20 лет назад. За прошедшие годы очень сильно изменились рынки информации, появились совершенно новые математические модели и методы. Настоящим прорывом в этом направлении можно считать публикацию (Babaioff, Kleinberg, and Paes Leme, 2012), где ясно просматривается

ориентация на практическое применение. Далее эта работа цитируется как (BKPL, 2012). Дальнейшее развитие этих идей имело место в совсем свежей статье (Chen, Xu, Zheng, 2019). Другое прорывное направление представлено работой (Smolin, 2019), а связь между этими направлениями – работой (BBS, 2018), цитируемой далее кратко (BBS, 2018).

На сегодняшний день уже можно с уверенностью сказать, что основная часть пути по формализации торговли информацией в разных видах успешно пройдена. Разработаны совместимые со стимулами механизмы (протоколы) торговли информацией на основе современной теории игр, легко адаптируемые для ряда реальных рынков. Во многом понятно, как все это может быть реализовано на практике, разумеется, если эту практику хорошо знать, а такое случается не так уж часто. В истории экономических теорий достаточно примеров, когда очень известные экономисты совершали фатальные ошибки лишь потому, что не нашли времени посмотреть, как оно происходит на самом деле, то есть на практике. Возможно, самым ярким примером надо признать историю о том, как сигнал маяка вошел в учебники как пример общественного блага, за которое должно платить государство, а потом Рональд Коуз (Coase, 1974, 1988)¹ обнаружил и показал, что в Англии маячное дело всегда было частным. Случай с маяком – яркий, но не единственный пример такого рода. И все же, интересно рассмотреть качественные изменения при изменении положения информации от вспомогательной до центральной роли – главного предмета торговли. Отчасти это обсуждается в упомянутых выше работах 2012 и 2019 годов, подробно анализируемых ниже. Существенно раньше и в намного более широком контексте это обсуждается в работе (Varian, 1999). Представленное в ней понимание информации достаточно интересно и заслуживает обсуждения, причем в контексте других концепций, идущих не от экономистов-теоретиков, а от практиков, работающих на стыке экономики и информационных технологий.

Далее текст обзора выстроен следующим образом. Сначала идет уточнение понятий и терминов, относящихся к исследуемому предмету, общее описание достижений в рассматриваемой области и краткое описание наиболее ярких результатов на доступном широкой публике языке без погружения в математику (раздел 1). Затем более подробно излагаются результаты двух наиболее интересных с точки зрения возможной автоматизации процесса работ (BKPL, 2012) и (Smolin, 2019) с точным описанием результатов и комментариями к ним (разделы 2 и 3, соответственно).

1. От истоков до наших дней

Вопрос о роли информации и знаний в экономике не мог не занимать экономистов, а потому неудивительно, что многие из них, включая нобелевских лауреатов, высказались на эту тему и даже предложили способы представления информации в математических моделях. При этом естественно возникает вопрос о соотношении понятий «знания», «информация», «сигнал» и нужно ли различать эти понятия при построении математических моделей. С этого следует начать, причем не замыкаясь в экономике, а подходя к вопросу с более ясных позиций теории информации.

1.1. Информация, сигналы и знания в информатике и экономической теории

Информация, знание, сигнал – знакомые всем слова, причем отнюдь не синонимы. Тем не менее, часто они взаимозаменяемы, то есть, в стоящих за ними сущностях много общего. Клод Шеннон, справедливо признаваемый создателем теории информации, позже писал, что свою теорию (Shannon, 1948) ему следовало назвать теорией сигналов. Он занимался вопросами связи, в том числе, пропускной способностью каналов связи, а потому термин «сигнал» был более точен в том конкретном контексте.

Считается, что именно Шеннон ввел понятие информации, но фактически он писал о количестве информации, определяя его через энтропию. Он никогда не пытался дать ответ на вопрос: что такое информация? В этом просто не было необходимости, поскольку ни на одно решение это не могло повлиять. Несколько иначе подошел к этому вопросу Норберт Винер, определив количество информации как уменьшение энтропии (неопределенности). Так оно больше похоже на определение в классическом понимании этого слова, чем количество информации по Шеннону. Еще больше оно похоже на определение в классическом смысле, если выбросить слово «количество», то есть заменить «количество информации» в определении на «информация». Однако сути дела это не меняет, все равно речь идет не о том, что есть информация, а именно о ее количестве применительно к контексту.

Между тем, в определении информации или, точнее, ее количества по Винеру есть дефект, которого нет в исходном определении количества информации по Шеннону. Он становится виден, если воспользоваться следующим хорошо известным примером.

Представим себе, что разведчик передает по радию информацию о расположении войск, орудий и укреплений противника, а в конце он должен передать короткое кодовое слово, подтверждающее достоверность всего переданного ранее. Если такое слово отсутствует или искажено, то принимающая сторона должна считать все переданное ранее дезинформацией, передаваемой по принуждению попавшим в плен разведчиком. Далее, представим себе, что из трех букв кодового слова переданы только две, а потом связь обрывается. Спрашивается, сколько информации было передано, если пользоваться определением по Шеннону, а сколько – по Винеру? Понятно, что количество информации по Шеннону можно посчитать, исходя из загрузки канала, то есть безотносительно к тому, передана правда или ложь. С

¹ Статья в переводе на русский язык есть в Коуз Р. Фирма, рынок и право М.: Дело, 1993, с.169-170

определением по Винеру так не получится. Оно приводит к парадоксальной ситуации, когда один дополнительный бит информации, подтверждающий достоверность переданных ранее сведений, радикально меняет ситуацию с неопределенностью. Если ответ «да», то достоверны все сведения о расположении укреплений, орудий, войск и чего угодно еще, но если ответ «нет», то все переданное ранее, – дезинформация, в этом случае сохраняется полная неопределенность во всем, о чем шла речь.

Может показаться, что сказанное выше не имеет отношения к торговле информацией и к экономике вообще, но это далеко не так. Более того, в работе (VKPL, 2012) рассматривается ситуация, когда информация о потенциальных потребителях продается рекламодателям для того, чтобы они могли точнее располагать свою рекламу. Но реклама – это тоже информация, если исходить из трактовки Шеннона, так как она занимает каналы связи. Но это – навязываемая, а не покупаемая информация. Говорить о ее ценности нет смысла. Однако, и это еще не конец. Покупаемая информация тоже необязательно должна быть ценной, важна лишь оценка ее покупателем, а он может быть внушаем или не иметь возможности проверить эффективность использования рекламы. Если ему внушили, что благодаря приобретенной информации о потребителях он лучше расположил свою рекламу, то все тут честно и проблемы нет. Была ли в результате реклама более эффективной – отдельный вопрос, на который обычно нет ответа. В экономике очень редко можно что-то повторить, соблюдая все имевшие ранее место условия. Поэтому проверить эффективность рекламы можно далеко не всегда. А потому, получив сигнал или информацию о чем-то, покупатель совершенно необязательно стал больше знать по интересующему его вопросу, хотя именно в этом его убеждают. Платит он фактически за это убеждение.

Как уже говорилось выше, различия между знаниями и информацией в ранних работах по экономике знаний и информационной экономике вообще не удостоились внимания, поскольку на высоком уровне абстракции, как и с практической точки зрения, проводить такое различие в большинстве случаев достаточно бессмысленно. Разумеется, если речь идет о сигнале маяка или разжигании костра на сигнальной башне, то как-то странно говорить, что капитанам кораблей, находящихся поблизости, передается знание. Аналогично, если начальник производства поясняет сварщику, до какой температуры калить свариваемые детали (куски металла), то странно говорить, что он подает сигнал. Тут он делится своим знанием. Но причина здесь в контексте, а не в том, что фактически передается. Так и в экономике. Если автор не делает различий между информацией и знаниями, то отнюдь не по недомыслию.

Родоначальником экономики знаний по праву считается Фриц Махлуп, опубликовавший в 1962 году книгу (Machlup, 1962), целиком посвященную развитию отраслей, связанных с производством, накоплением и распространением информации (знаний). Как и его последователи, Фриц Махлуп не делал различий между знанием и информацией (Machlup, 1962, chapter 1). Не делал их и Кеннет Эрроу – один из основоположников информационной экономики и первый из тех, кто стал рассматривать информацию (знание) как продукт со специфическими свойствами. В модели равновесия (Argow, 1962, p. 104–119) он представил знания (информацию) логическими переменными. Другой основоположник информационной экономики – Джордж Стиглер использовал те же термины (Stigler, 1961, p. 213–225) исключительно в том смысле, что дополнительная информация или знания помогают уменьшить неопределенность и избежать ошибок при совершении сделки, а потому имеют ценность, которая может быть измерена. Такое понимание информации очень близко (если не тождественно) тому, как понимал информацию Норберт Винер. Однако в трактовке Винера присутствует количественная мера информации, а не ее экономическая ценность. Впрочем, экономической ценностью информации Винер не очень интересовался.

1.2. Второй парадокс Эрроу, опционы и продажа контента

Кеннет Эрроу прославился не только вкладом в теорию экономического равновесия, но и своими парадоксами. Хорошо известен парадокс Эрроу о невозможности коллективного выбора или теорема о диктаторе, менее известен другой парадокс Эрроу о продаже информации. Суть этого парадокса в том, что до раскрытия информации (ноу-хау) за нее не стоит платить, поскольку не вполне ясна ее ценность, а после раскрытия нет смысла платить, так как она уже известна. В этом, по мнению К. Эрроу, заключается непреодолимая проблема для торговли знаниями и создания рынка знаний. Однако практика торговли ноу-хау давно решила эту проблему. До раскрытия ноу-хау заключается опционное соглашение, в котором прописываются процедура раскрытия ноу-хау и условия, при которых потенциальный покупатель будет обязан заключить договор о покупке уже раскрытого ноу-хау, а также цена договора о передаче ноу-хау и другие его условия. Фактически в этот договор встраивается реальный опцион типа пут. Если раскрытие ноу-хау показывает его эффективность, то договор о покупке должен быть заключен на заранее оговоренных условиях. Сторона, продающая ноу-хау, в этом случае ничем не рискует, поскольку осведомлена о работоспособности и эффективности предлагаемого ноу-хау и знает, что раскрытие приведет к появлению у покупателя обязательств, а приобретающая сторона убеждается в эффективности ноу-хау до его приобретения. Практика тут опять поправила теорию почти как в примере с маяком, но важно не это, а то, что в рассматриваемой ниже (подраздел 1.3) работе (Smolin, 2019) фактически прописана эта схема на языке математики, то есть на новом уровне понимания.

Также стоит отметить, что Эрроу рассматривал информацию и как сигнал – уменьшение неопределенности (то есть, по Винеру), и как продукт со специфическими свойствами, что в данном случае более существенно. Эти специфические свойства информации – продукта – проявляются как отсутствие износа при использовании и возможность потребления сразу многими экономическими агентами без создания помех друг другу, если информация никак специально не охраняется (Argow, 1962, p. 104–119).

Следует обратить внимание на последнее условие, косвенно свидетельствующее о том, что Эрроу понимал под информацией в том числе охраняемые результаты интеллектуальной деятельности. Его понимание термина «информация» (как продукт) тождественно или, в крайнем случае, очень близко по смыслу более современным терминам – «информационные продукты» (Varian, 1998, part 1) или «цифровые продукты». В том числе, к этой категории относятся объекты авторских и смежных прав.

В литературе по информационной экономике, экономике авторского права и интернет интересующая нас категория продуктов может быть определена через «возможность оцифровки» (Varian, 1998). Вся совокупность таких продуктов, включая новые цифровые продукты и поддающееся оцифровке содержание традиционных продуктов (но не их материальную часть), принято обозначать термином *content* (Detering, 2001) или «контент» – в русской транскрипции. Иногда также говорят «медиа контент». Слово «содержание» не передает в полной мере смысла термина, поэтому лучше пользоваться транскрипцией (контент). В результате получаем следующую формулировку: Контент – это все, что в принципе поддается оцифровке или изначально существует в цифровой форме. Сюда входят компьютерные программы, музыка, тексты, кино, видео и многое другое. Список открыт. Для представления контента в математических моделях и теоретических работах обычно используются числовые переменные, хотя далеко не всегда за ними стоят измерения или измеримые величины. Как и при построении пространства обычных продуктов, главное здесь – частичная упорядоченность продуктовых наборов, а не количественные показатели как таковые. Упорядоченность (хотя бы частичная) здесь либо сразу присутствует, либо ее можно ввести. Практика продажи контента хорошо описана в (Detering, 2001) и многих других работах. В том числе много внимания уделяется ценовой дискриминации как необходимому условию оптимальности и сложности ее практической реализации. Один из используемых для этого приемов – создание версий продукта, например, по разным ценам продаются версии операционной системы с разными ограничениями по функциональности и полная версия по максимальной цене.

Теория и здесь пассивно следует за практикой. Исследования проблем версионности информационных товаров составляют большой массив литературы, где подчеркивается, что цифровое производство позволяет продавцам легко настраивать (или ухудшать) атрибуты таких товаров (Shapiro and Varian, 1999). Этот аргумент еще более убедительно применим к информационным продуктам, включая статистику экспериментов. Грубо говоря, проблема продавца данных состоит в ухудшении качества информации, продаваемой некоторым покупателям, чтобы взимать более высокие цены с тех, кто готов платить больше. Показано, что сама природа информационных продуктов расширяет сферу ценовой дискриминации. Поскольку информация ценна в той мере, в какой она влияет на принятие решений, покупатели с различными убеждениями не просто оценивают эксперименты по-разному: они могут даже не соглашаться с их ранжированием. В этом смысле ценность информации, согласно (BBS, 2018), естественным образом имеет как вертикальную составляющую (качество информации), так и горизонтальную составляющую (место информации). Не будем с ними спорить.

1.3. Аукционы и другие совместимые со стимулами механизмы продажи информации

Несколько иначе принято представлять информацию в теории создания оптимальных механизмов, в том числе, в теории аукционов. В классической работе (Milgrom and Weber, 1982) рассматриваются различные форматы аукционов как одно действие и обсуждается, как при раскрытии продавцом информации (но без прямого взимания платежа за раскрытие) изменяется доход относительно качества продукта. В работе (Persico, 1991) замечено, что информационная структура почти всегда принимается как экзогенная и не контролируемая проектировщиком механизма. Он инициирует серию запросов, предлагая эндогенный процесс закупок информации на аукционе. Сбор информации в его модели происходит конкурирующей фирмой, оплачивающей некоторые экзогенно установленные затраты (скажем, выполнение R&D).

В упомянутой выше работе (VKPL, 2012) анализируются оптимальные механизмы продажи информации. Тот же вопрос рассматривается в более поздней работе (BBS, 2018), но детали моделей, контрактная среда и характер результатов существенно отличаются. Центральными результатами работы (VKPL, 2012) являются утверждения принципа раскрытия и алгоритмы оптимального механизма, как и в (Cremer and McLean, 1988). В этой модели функция, определяющая *ex post* платеж покупателя данных, зависит от двух переменных состояния. Продавец имеет частную информацию об одной переменной состояния, а покупатель – частную информацию о другой. Контрактная среда отличается тем, что продавец имеет право сделать раскрытие информации и цену зависимыми от его частного наблюдаемого сигнала, тогда как в (BBS, 2018) продавец данных должен принять обязательство по механизму продажи до реализации любой переменной состояния. Этой работе далее уделяется достаточно много внимания, так как она играет роль связующего звена между более ранней работой (VKPL, 2012) и более поздней работой (Smolin, 2019), а эти две работы заслуживают особого внимания, поскольку каждая из них – своего рода прорыв.

В работе (BBS, 2018) показано, что оптимальное меню содержит, в общем случае, как полностью информативный эксперимент, так и частично информативные, «искаженные» эксперименты. Искраженные информационные продукты – это не просто зашумленные версии тех же самых данных. Вместо этого оптимальность накладывает значительную структуру на искажения в предоставляемой информации. В частности, каждый эксперимент, предлагаемый в рамках оптимального меню, является недисперсным, то есть содержит реализацию сигнала, исключаящую одно из состояний. Более того, если

задача решения покупателя состоит в том, чтобы соотнести его действие с состоянием, то каждый эксперимент концентрируется, т. е., он побуждает покупателя совершить правильное действие с вероятностью единица, обусловленное по крайней мере одним реализованным состоянием.

Там же приводится полная характеристика оптимального меню в случае бинарных состояний и действий. Эта установка дает четкое представление о прибыльности дискриминационного ценообразования для продажи информации, что, вообще говоря, не является новостью, но свидетельствует о работоспособности модели. В среде бинарных состояний типы покупателя одномерны, а утилиты кусочно-линейны с изломом в точке, в которой покупатель переключил бы свое оптимальное действие. Если все типы покупателей конгруэнтны, то есть они совершают идентичные действия без дополнительной информации, интуитивно это близко результату «без торгов» для монопольного ценообразования (Myerson, 1981; Riley; Zeckhauser, 1983). Применяется правило: продавец просто предлагает полностью информативный эксперимент по фиксированной цене. Однако в целом проблема продавца состоит в отборе типов как внутри, так и между классами конгруэнтных типов. В дальнейшем часто применяется сокращенное наименование типов покупателей. «типы» – это всегда типы покупателей.

1.4. Частичное раскрытие информации как маркетинговый прием

Полезное использование частичной информации можно наблюдать с двумя типами, которые ранжируются в соответствии с их оценкой полностью информативного эксперимента. «Высокий» тип предполагается изначально менее информированным, в то время как «низкий» тип – изначально более информированным. Предположим, что типы будут проводить различные действия в отсутствие дополнительной информации. Приемлемая политика для продавца состоит в том, чтобы предложить высокому типу полный информативный эксперимент, а низкому типу частичный информативный эксперимент, который генерирует один из двух сигналов: с небольшой, но положительной вероятностью сигнал информирует низкий тип без шума о состоянии, которое он изначально считает менее вероятным; с оставшейся вероятностью он посылает второй шумовой сигнал. Это позволяет низкому типу улучшить качество принятия решений; таким образом, он был бы готов заплатить положительную сумму за эксперимент. Напротив, высокий тип не придаст положительного значения этой частичной информации. В конце концов, он все равно выбрал бы действие, предлагаемое бесшумным сигналом, а учитывая его приоритеты, шумовой сигнал слишком слаб, чтобы изменить его действие.

Как уже отмечалось выше, статья (BBS, 2018) является частью массива литературы по продаже информации лицам, принимающим решения в условиях недостаточной информированности, и учитывает опыт предшественников. В фундаментальных работах (Admati and Pfleiderer, 1986, 1990) анализируется продажа информации континууму однородных агентов *ex ante*, все с одной и той же *ex ante* информацией. После приобретения дополнительной информации агенты торгуют активом с общей стоимостью. Они показывают, что оптимально предоставлять шумную, своеобразную и, следовательно, неоднородную информацию. Эта своеобразная информация гарантирует трейдерам локальную монополию, которая сохраняет ценность приобретения информации даже в условиях информативного равновесия рациональных ожиданий. Таким образом, в (Admati and Pfleiderer, 1986, 1990) явно рассматриваются взаимодействия между покупателями данных, которые в (BBS, 2018) не рассматриваются. Авторы (BBS, 2018) фокусируются на *ex ante* гетерогенных типах одного покупателя, которые оценивают информацию по-разному из-за их различных прежних убеждений. Продавец данных в этих условиях предлагает зашумленные версии данных, чтобы экранировать исходную информацию покупателя и извлечь больше дополнительных выгод, что приводит к глубоким различиям в оптимальных экспериментах. Второй вклад (BBS, 2018) относительно (Admati and Pfleiderer, 1986, 1990) заключается в том, что рассматриваются все возможные статистические эксперименты, внимание не ограничено нормальным распределением ожиданий и сигналами. Как выясняется, оптимальный эксперимент находится вне нормального класса, даже если ожидания распределены нормально.

1.5. Дискриминация в раскрытии информации и ценообразовании

В литературе по проектированию механизмов рассматриваемый подход связан с моделями дискриминационного раскрытия информации, в которых продавец товара раскрывает информацию о стоимости и соответственно устанавливает цену, но концептуально отличается от них. В нескольких работах, включая (Lizzeri, 1999), (Ottaviani and Prat, 2001), (Johnson and Myatt, 2006), (Bergemann and Pesendorfer, 2007), (Eso and Szentes, 2007a), (Krahmer and Strausz, 2015) и (Li and Shi, 2015), эта проблема анализируется с точки зрения *ex ante*, когда продавец обязуется (одновременно или последовательно) соблюдать правило раскрытия информации и ценовую политику². В (Eso and Szentes, 2007b) рассматривается соответствующая модель консультирования по продаже. Их модель отличается от рассматриваемой в (BBS, 2018) в двух измерениях. Во-первых, частная информация агента – это ожидаемая разница в стоимости между двумя возможными действиями. Таким образом, частная информация является одномерной, а не многомерной. Во-вторых, продавец может поставить оплату в зависимость как от статистического эксперимента, так и от действий покупателя.

²В дополнение можно упомянуть еще несколько работ, включая (Balestrieri and Izmalkov, 2014), (Celik, 2014), (Koessler and Skreta, 2016) и (Mylovanov and Troger, 2014).

В модели (BBS, 2018) продавец может оценить информацию, но не само действие. Приверженность политике раскрытия информации присутствует в (Rayo and Segal, 2010), (Kamenica and Gentzkow, 2011), а также в (Kolotilin, Li, Mylovanov, and Zapechelnyuk, 2015). В отличие от этого направления, модель (BBS, 2018) допускает денежные трансферты и исключает любое прямое влияние действий покупателя *ex post* на полезность продавца.

В предыдущей работе (Bergemann and Bonatti, 2015) рассматривалась политика приобретения информации покупателем данных, который затем принимает решение о размещении медийной рекламы. Эта более ранняя модель была во многих отношениях проще. Во-первых, цена информации была дана или определена конкурентным рынком. Во-вторых, покупатель данных не имел никакой личной информации. В-третьих, несмотря на наличие континуума совпадающих значений (состояний) и уровней рекламы (действий), доступные информационные структуры были ограничены простыми запросами, которые идеально раскрывали отдельные реализации состояний. Анализ фокусировался на характере оптимальных запросов покупателя с учетом распределения значений соответствия и стоимости рекламы.

Схожее название имеет работа (Horner and Skrzypacz, 2016), но в ней рассматриваются очень разные настройки. Авторы считают, что это динамическая игра в захват, за исключением того, что продается информация, а не физический объект. В начале игры покупатель не имеет никакой личной информации и хочет нанять компетентного продавца данных. Продавец данных знает, компетентен ли он, и может доказать свою компетентность, последовательно проводя тесты в рамках фиксированного подкласса статистических экспериментов. В (Horner and Skrzypacz, 2016) допускаются последовательные денежные переводы и характеризуется равновесие, наиболее благоприятное для компетентного продавца.

Наконец, рассматриваемая проблема продавца имеет некоторое сходство с проблемой упаковки. При наличии более чем двух состояний типы покупателей многомерны, и хорошо известно – см., например, (Pavlov, 2011b) – что результат (Myerson, 1981) и (Riley and Zeckhauser, 1983) с единой ценой не соответствует действительности. Действительно, оптимальное меню включает в себя стохастические пакеты в целом, и структура предлагаемых пакетов может быть довольно богатой. Стохастические пакеты аналогичны частично информативным экспериментам в рассматриваемой модели. Для дальнейшего отличия от этих классических многомерных задач стохастическое связывание может возникнуть в нашей ситуации, даже если типы покупателей одномерны.

2. Прорыв 2012 года

Неоднократно упоминавшаяся выше работа (BKPL, 2012) представляет собой несомненный прорыв в области математического моделирования торговли информацией, поскольку в ней были впервые представлены не модели – математические метафоры, повторяющие на языке математики давно известные практикам истины, а работающие алгоритмы, совместимые со стимулами и позволяющие реально оптимизировать продажу информации. Дополнительным аргументом, свидетельствующим в пользу практической направленности работы, может служить тот факт, что двое из авторов статьи полностью или частично аффилированы с исследовательским подразделением фирмы Microsoft.

В мотивирующей части статьи авторы описывают тенденцию в онлайн-рекламе – использование поведенческого таргетинга и информации о пользователях (например, демографических данных) для лучшего соответствия рекламы зрителю. Это стало возможным благодаря наличию агентств, предоставляющих данные, таких как Bluekai, Bluecava, eXelate Media, Clearsprings и RapLeaf, чей бизнес заключается в сборе, кураторстве и продаже информации о намерениях пользователей рекламодателям. В статье (Clifford, 2009) в NYT анализируется это явление и указано, что агентства данных не являются исключительно интернет-феноменом. Например, в течение многих лет такие компании, как Asxiot и Exreigian (основанные в 1969 и 1980 годах соответственно), собирали информацию о потребительских привычках и продавали эту информацию маркетологам, которые затем могли использовать ее для отправки каталогов по почте. Можно привести примеры гораздо более изощренных приемов распространения рекламы, куда уместнее говорить о продаже не информации, а внимания зрителей (Wu, 2010, 2016), но эти приемы уже за рамками темы. Они касаются не продажи, а навязывания информации.

Конкретная ситуация, рассматриваемая авторами, такова: у рекламодателя есть несколько различных объявлений, которые он может представить зрителю, и эффективность каждого из них зависит как от объявления, так и от характеристик зрителя. Например, автопроизводитель предпочитает показывать рекламу спортивных автомобилей богатым молодым холостякам, а рекламу семейных автомобилей – пожилым зрителям с детьми. Агентство, предоставляющее данные (продавец), может иметь некоторую информацию о зрителе, составляющим впечатление, например, пол, возраст и прошлое взаимодействие на этом сайте. Такая информация может быть ценной для рекламодателя, поскольку он сможет использовать ее для лучшего таргетинга, и продавец-монополист хотел бы извлечь из этой ценности как можно больше дохода. Рекламодатель (покупатель) также может иметь некоторую информацию о зрителе, и эта информация может быть соотнесена с информацией продавца. Продавец имеет неопределенность в отношении информации или полезностей покупателя, но обладает некоторой верой в них.

В то время как продажа информации о зрителях поднимает очевидные вопросы конфиденциальности, она также поднимает интригующие вопросы чисто экономического характера. Как можно количественно оценить ценность этой информации? Какова оптимальная (т. е. максимизирующая доход) стратегия продажи информации? Каковы качественные различия между продажей информации и продажей

физических товаров и услуг? Как эти различия влияют на структуру рынков информации и алгоритмические проблемы, лежащие в их основе?

Чтобы осветить сложности, присущие таким вопросам, авторы статьи считают полезным выделить некоторые различия между продавцом, предлагающим n различных товаров для продажи, и продавцом, предлагающим n битов информации.

- (1) продавец товаров может сгруппировать их в пачки, предложив подмножество товаров по определенной цене. Продавец битов может делать много других вещей: например, он может установить определенную цену для выявления логического XOR³ первых двух битов или некоторой более сложной функции битов.
- (2) Потребитель товаров обычно знает их стоимость еще до того, как они распределяются. Ценность той или иной информации, как правило, неизвестна до тех пор, пока она не будет раскрыта⁴.
- (3) В качестве принципа взимания с покупателя платы за товары может быть принято правило – ставить его перед заранее объявленной ценой за каждый пакет (которая не зависит от его типа). В некоторых случаях продавец информации может получить строго больший доход, используя интерактивный протокол, а не публично заявленные цены.

Одно из ключевых понятий, используемых в статье, – интерактивный протокол. Авторы используют термины *протокол* и *механизм* как взаимозаменяемые. Тем не менее, некоторая специфика в понимании этого термина есть. Заметим, что, иллюстрируя возможность отдельных случаев применения интерактивных протоколов при торговле обычными продуктами, авторы приводят пример с рестораном. Клиент в ресторане необязательно знает качество пищи, которую он собирается потреблять; в свою очередь, это может побудить продавцов к использованию интерактивных протоколов, например, позволяя клиенту ресторана попробовать ограниченную выборку пищи за сниженную цену (или даже бесплатно) прежде, чем решить, заказать ли больше. Такие ситуации интерпретируются как рынки, в которых информация и товары соединены, то есть раскрытие качества пищи происходит в пакете с продажей пищи как таковой. Описанный выше пример с продажей ноу-хау через подписание опционного договора, раскрытия ноу-хау и последующего подписания договора о передаче ноу-хау, возможно, мог бы послужить еще лучшей и заведомо более полезной иллюстрацией.

Цитируемая работа посвящена некоторым из перечисленных выше вопросов с включением их в модель и попыткой сохранить достаточную общность в предположениях модели об информации и ее полезности. При этом в модель не включены такие особенности, как сцепление товаров и информации или конкуренция между многочисленными покупателями и продавцами информации. Единственное принятое предположение состоит в том, что полезность информации заключается в руководстве будущими действиями стороны, получающей информацию. Таким образом, в модели есть единственный продавец и единственный покупатель. Состояние мира (обозначаемое далее ω) известно продавцу, но не покупателю⁵. Тип покупателя или тип выигрыша покупателя (buyer's payoff type), обозначаемый θ , известен покупателю, но не продавцу. Эти две стороны участвуют в интерактивном протоколе, состоящем из одного или более раундов, в которых обмениваются сигналами и/или деньгами. После этого взаимодействия покупатель выбирает действие (основанное на своих обновленных убеждениях) и получает выплату, которая зависит от состояния мира, его собственного типа и выбранного действия.

Главное предположение авторов состоит в том, что продавец проектирует протокол и может с уверенностью и открыто следовать протоколу, который он проектирует. С другой стороны, покупатель не обязан быть честным: он может посылать сигналы, несовместимые с его истинным типом, если такое поведение рационально. Тем не менее, авторы различают постоянных покупателей – тех, которые могут полностью следовать указанному протоколу, даже если они посылают нечестные сигналы, и непостоянных покупателей, которые могут прервать протокол, если это целесообразно, например, когда они получили информацию и еще не заплатили за нее.

Основные результаты. Набор всех интерактивных протоколов – большое и плохо структурированное пространство. Поиск протокола, обеспечивающего максимум дохода, неизмеримо сложен, если нет способа ограничить область поиска. Первый набор результатов обеспечивает инструменты, необходимые для этого. В проектировании механизма это часто делают, обращаясь к некоторой форме правила раскрытия, согласно (Gibbard, 1973) и (Myerson, 1979). В их постановке покупатели имеют частные типы, а продавец (проектировщик механизма) должен выбирать из ряда исходов и может взимать платежи с покупателей. Правило раскрытия гласит, что, если определенный исход и платежи могут быть осуществлены в равновесии возможно сложного и интерактивного механизма, то это может быть осуществлено в простом прямом протоколе раскрытия, где покупатели сообщают о своих типах, а механизм выбирает результат и платежи. Кроме того, у этого механизма есть простое равновесие, где каждый

³ Логическая операция **XOR** (исключающее ИЛИ). Тут сразу можно заметить, что экономисту такое вряд ли могло бы прийти в голову, будь он хоть трижды нобелевским лауреатом. Но таковы междисциплинарные задачи.

⁴ Тут уместно вспомнить парадокс Эрроу о торговле знаниями.

⁵ модели также включают случаи, в которых покупатель и продавец оба получают (возможно, разные) сигналы о состоянии мира.

покупатель правдиво сообщает о своем типе. Если результат – распределение традиционных товаров, правило раскрытия подразумевает, что механизм может быть реализован как протокол из трех шагов: (i) покупатели сообщают о своем типе, (ii) совершаются платежи, (iii) определяется результат. У такого механизма есть свойство раскрытия в один раунд, свойство, которое определено точно, но интуитивно это означает, что покупатели делают ход лишь однажды (декларируя свой тип), платежи случаются только однажды, и продавцы делают ход только однажды (выбирая результат).

Следующий случай, когда результат – разглашение информации, а не распределение традиционных товаров. Правило раскрытия Майерсона все еще держится в том смысле, что любой результат может быть осуществлен механизмом, где покупатели правдиво сообщают о своем типе на первом шаге. Однако неясно, сохраняется ли еще более сильное свойство раскрытия в один раунд. После сообщения покупателем о его типе, может понадобиться последовательность платежей и частичных раскрытий информации, чтобы достичь определенного результата.

Первый набор результатов (Теоремы 1 и 2) обеспечивает условия, при которых сохраняется свойство раскрытия в один раунд. Точные формулировки теорем немного более сильны: они дополняют правило раскрытия с дополнительной информацией об относительном выборе времени сигналов и платежей.

Теорема 1. *Когда покупатели постоянны, или когда покупатели непостоянны, но ω и θ – независимые случайные переменные, любой механизм может быть преобразован в механизм, извлекающий тот же самый доход и имеющий следующую форму: и покупатель, и продавец посылают по единственному сообщению, оплата имеет место только однажды, сообщение покупателя – просто объявление о своем типе, а правдивая отчетность максимизирует полезность покупателя.*

Интересно то, что правило раскрытия не работает в случае, когда есть непостоянные покупатели и коррелированные сигналы. Обычная логика, оправдывающая правило раскрытия тем, что агенты могут всегда сообщать о своих типах механизму и позволить ему моделировать их оптимальную стратегию при данном их типе, не может быть применима к тонкостям, имеющим отношение к выбору времени платежей, корреляции сигналов и тому факту, что покупатель нейтрален. Прямой механизм, пытающийся моделировать интерактивный протокол, не способен определить объективную оценку ожидаемой оплаты покупателя до замечания ω , потому что, в отличие от того же в независимом случае, условное распределение ω зависит от ценности θ (истинного типа покупателя) и необязательно от заявленного типа. С другой стороны, если механизм моделирует протокол, используя реализацию ω и заявленную цену, которая зависит от результата моделирования, он терпит неудачу, потому что покупатели нейтральны: цена открывает информацию о ω , и покупатели могут добыть эту информацию бесплатно, отказываясь платить.

Следующие результаты касаются алгоритмов для вычисления оптимального механизма. Даже при сохранении свойства раскрытия в один раунд, совсем не очевидно, как эффективно вычислить оптимальный механизм. В механизме раскрытия в один раунд продавец отправляет покупателю информацию, открывая (возможно, случайным образом) сигнальную выборку из распределения, зависящую от ω и θ . Главная трудность состоит в том, что продавец волен выбрать размер носителя этого распределения (т.е. число потенциальных сигналов), а это, в принципе, приводит к задаче оптимизации неограниченной размерности. Однако мы покажем, что оптимальный механизм можно вычислить в полиномиальное время, решая задачу выпуклого программирования ограниченной размерности; побочный продукт доказательства – явная верхняя граница числа потенциальных сигналов.

Теорема 2. *Пусть ω может принимать только m возможных значений, θ может принимать только n возможных значений, а покупатели постоянны или покупатели непостоянны, но ω и θ – независимые случайные переменные, тогда существует алгоритм вычисления оптимального механизма за время $poly(m, n)$.*

Кроме того, существует оптимальный механизм, в котором каждый переданный от продавца покупателю сигнал – выборка из множества размера $O(m + n)$.

В Теореме 2 доказан аналог результата (Stremel and McLean, 1988) на оптимальных аукционах с коррелированными предложениями. Показано, что, когда корреляция ω и θ достаточно комплексна, так что определенная матрица имеет полный ранг, оптимальный механизм извлекает всю прибавку. Однако, как в (Stremel and McLean, 1988), если эта матрица плохо обусловлена, оптимальный механизм может быть весьма экзотичным, использующим смесь неограниченно больших положительных и отрицательных платежей. Отсюда возникает следующий вопрос: до какой степени его доход может быть аппроксимирован более простыми и более естественными механизмами? Этот вопрос исследуется при сравнении мощности четырех прогрессивно более общих типов механизмов:

(i) механизм «плотная упаковка», трактующий ω как неделимое благо, описывающий его ценность в плотной оболочке и объявленной цене за упаковку;

(ii) механизмы, открывающие сигнал о ω , но берущие плату с покупателя за этот сигнал до его раскрытия;

(iii) механизмы, раскрывающие сигнал о ω , а затем берущие с покупателя плату – неотрицательное число, зависящее от сигнала;

(iv) произвольные механизмы.

Утверждается также, что, если сравнивать оптимальные механизмы двух из этих четырех классов, их доход никогда не отличается в большую сторону более, чем на коэффициент $|\Theta|$ – число типов потенциальных покупателей. Этот мультипликативный скачок плотен до постоянного коэффициента: для любых двух из вышеупомянутых классов механизмов можно обнаружить примеры, где механизмы в более общем классе получают $\Omega(|\Theta|)$ кратный доход оптимального механизма из более специального класса. Кроме того, работа оставляет много интересных открытых задач.

3. Последние новости

Идей высказанные в (BKPL, 2012), получили развитие и новое приложение в работе (Chen, Xu, Zheng, 2019) применительно к консалтинговым услугам, и отчасти в работе (BBS, 2018), а потом в (Smolin, 2019) применительно к деятельности рекрутинговых агентств. Авторы работы (Chen, Xu, Zheng, 2019) в качестве своих достижений указывают на большую реалистичность предлагаемых ими механизмов. Основанием для критики предшественников послужил числовой пример, когда покупатель вносит залог 25004 доллара, а в результате выполнения протокола либо получает 50000, либо ничего с одинаковой вероятностью. Разумеется, это совершенно нечеловеческая игра, но было бы наивно предполагать, что авторы статьи 2012 года могли бы предложить ее людям. Далее наибольшее внимание уделяется работе (Smolin, 2019), где получено много интересных результатов, но самое примечательное то, что меню для покупателей информации представлено в виде набора опционов. В эту схему укладывается большое количество реальных ситуаций, о чем очень интересно поговорить.

3.1. Рекрутинговое агентство как исходный пример

В качестве конкретного примера рассматриваются операции крупной онлайн-рекрутинговой платформы Ziprecruiter.com. Платформа облегчает поиск работы, обеспечивая обмен информацией между соискателями и работодателями. Работодатели взаимодействуют с платформой, подписываясь на ее услуги, чтобы рекламировать свои открытые вакансии и получить доступ к большой базе резюме. Платформа Ziprecruiter.com (как юридическое лицо) активно внедряет инновации и экспериментирует со своими алгоритмами и ценообразованием. Только в октябре 2018 года платформа привлекла инвестиции в размере \$156 млн для улучшения своей технологии подбора соответствия, оценив ее в \$1,5 млрд. В настоящее время платформа использует нелинейную схему ценообразования для подписок, варьирующуюся в широте предоставляемой информации и возможности связаться с предпочтительными кандидатами (Dube and Misra, 2017).

Рынок рекрутинга, на котором работает Платформа, отличается существенной неоднородностью с обеих сторон. Профили кандидатов различаются по многим признакам, включая опыт работы, уровень образования, технические навыки и результаты стандартизированных тестов. Работодатели принадлежат к различным типам, таким как технологические стартапы, сетевые магазины, инвестиционные банки или правительственные учреждения. Естественно, разные типы работодателей ищут в своих кандидатах разные качества и, следовательно, различаются в своей готовности платить за контакт с одним и тем же кандидатом.

Платформа Менеджеры Ziprecruiter.com имеет доступ к большому объему данных о потенциальных кандидатах и облегчает подбор персонала, предоставляя эти данные работодателям. Ее алгоритмы определяют, какую информацию предоставить и по какой цене. Программируя алгоритмы платформы, можно запретить доступ к некоторым данным об атрибутах; в качестве альтернативы можно предоставить грубую статистику (например, вместо показа полного GPA можно показать только, превышает ли он определенный порог). Цель рецензируемой статьи – изучить компромиссы, с которыми сталкивается такая платформа, сообщить дизайн максимизации доходов и оценить искажения распределения, вносимые информационным контролем посредника.

3.2. Модель

Математическая модель, представленная в (Smolin, 2019), достаточно проста, что сделано сознательно, чтобы сосредоточиться на главном. Моделируется простейшая ситуация – монополист продает один объект со множеством атрибутов (характеристик) множеству покупателей разных типов. Все атрибуты (характеристики) выражаются числами. Покупатели разных типов различаются только предпочтениями, а предпочтения выражаются только весами, которые разные покупатели присваивают разным атрибутам. Оценка торгуемого объекта покупателем конкретного типа определяется как взвешенная сумма атрибутов с весами, определяющими тип. Иначе говоря, оценка торгуемого объекта – скалярное произведение вектора атрибутов, характеризующих торгуемый объект, на вектор весов, характеризующих тип. Автор статьи практически на всем ее протяжении говорит именно о типах, сокращая выражение «тип покупателя» до односложного «тип». В этом есть некоторое преимущество, так как математическое изложение становится не только короче, но и яснее. Несколько хуже с интерпретацией. Интересно приложить описание модели к той ситуации, от которой изначально отталкивается автор.

Если монополист – рекрутинговая платформа, о чем говорилось выше, то торгуемый объект – встреча с кандидатом на занятие вакантной должности. Атрибуты – информация из его резюме, выраженная числами, например, это могут быть оценки его образования, квалификации и компетенций в баллах. Использование вместо этого оценок в действительных числах – некоторая натяжка, впрочем, вполне терпимая для экономико-математических моделей. Описание типа вектором весов, которые покупатель данного типа присваивает значениям показателей, характеризующих рекрута (атрибутов), –

тоже большая натяжка. Однако при массовых оценках примерно так все и делается. Например, оценка публикационной активности научных работников в современной России осуществляется именно таким образом. Публикациям разного вида присваиваются разные веса. Количество публикаций в журналах WoS, SCOPUS, BAK – атрибуты. Присваиваемые публикациям в соответствующих журналах веса характеризуют тип, представленный единственным «покупателем» – Министерством науки РФ. Теоретически можно предположить, что и работодатели могут действовать аналогичным образом, оценивая кандидатов на массовые вакантные должности.

Так или иначе, в части описания предпочтений покупателей модель предельно упрощена, но упрощение не переходит границу допустимого для математико-экономических моделей. Главное – совсем не это, суть модели не в покупателях, а в продавце, точнее, в том, как он строит свою политику продаж и получает прибыль. В этой части модель очень интересна, а самое интересное в ней – меню, состоящее из набора опционов. В статье исследуются и характеризуются меню, максимизирующие доход.

Общая проблема максимизации доходов связана с информационным дизайном и многомерным скринингом денежных переводов. Как таковая, она влечет за собой две основные методологические проблемы. Во-первых, класс всех стохастических экспериментов велик. Не только каждый эксперимент может посылать множество сигналов, но и лежащая в основе неопределенность вектора атрибутов порождает континуум возможных состояний, каждое из которых имеет несколько измерений. Чтобы понять искажения, вызванные информационным дизайном, важно определить структуру оптимальных экспериментов. Во-вторых, проблемы многомерного скрининга, как известно, чрезвычайно сложны. В отсутствие одномерной структуры неясно, какие стимулирующие ограничения имеют значение для оптимального проектирования. Эта трудность еще более усугубляется наличием раскрытия информации, поскольку разные типы покупателей могут по-разному реагировать на одну и ту же информацию.

И объект, и информация о его атрибутах являются ценными для покупателя, а продавцу позволено оценить их совместно. Продавец предлагает меню опционов, отличающихся своей информативностью. Каждый опцион состоит из уплаченной авансом цены информации, атрибутивной информации и цены исполнения для объекта. Атрибутивная информация моделируется как произвольная статистическая экспериментальная информация об атрибутах. Информационный контроль обеспечивает ценовую дискриминацию. Варьируя цену информации, эксперимент и цену объекта, продавец может отсеивать типы покупателей. Этот механизм меню обеспечивает естественную и практическую основу для совместного анализа раскрытия информации и ценообразования.

Определяя место статьи (Smolin, 2019) в литературе по раскрытию частной информации и ценообразованию, ее автор Алексей Смолин отмечает, что им, в том числе, даны характеристики меню, максимизирующих доход продавца для ряда конкретных ситуаций. Если все типы ценят один и тот же атрибут, то продавец не может извлечь выгоду из раскрытия информации и ценовой дискриминации. В более общем плане, если каждый тип ценит один атрибут и атрибуты независимы, то продавец может извлечь выгоду из раскрытия информации, но не из ценовой дискриминации. В других случаях дискриминационное меню может быть прибыльным; однако оптимальные эксперименты всегда относятся к управляемому классу линейной политики раскрытия информации. Анализ информирует о работе различных посредников, включая бизнес-брокеров и онлайн-рекрутинговые платформы.

Одно направление этой литературы сосредоточено на недискриминационных механизмах, в которых продавец предоставляет единственную информацию. (Lewis and Sappington, 1994) вводят эти механизмы в условиях, когда покупатель не имеет предварительной информации. Они находят оптимальное раскрытие в пределах простого параметризованного класса и показывают, что оно, как правило, экстремально – либо полное раскрытие, либо нераскрытие. Далее (Bergemann and Pesendorfer, 2007) отмечают, что если существует общее знание о положительной прибыли от сделки, то никакое раскрытие информации не доминирует над любым другим возможным раскрытием, поскольку оно позволяет продавцу извлечь весь ожидаемый профицит. В работе (Johnson and Myatt, 2006) анализ расширен до параметров, в которых покупатель имеет предварительную информацию. Авторы сосредоточены на раскрытии информации, соответствующей глобальным поворотам кривой спроса, и еще раз показывают, что экстремальные раскрытия являются оптимальными. Статья (Smolin, 2019) вносит свой вклад в эту литературу, показывая, что если продукт имеет несколько атрибутов, то единое многостороннее раскрытие может доминировать как в полном раскрытии, так и в нераскрытии, даже если существует общее знание о положительной прибыли от сделки.

В то же время, когда покупатель располагает частной информацией, естественно изучать дискриминационные механизмы и то, как они могут быть использованы для выявления типов покупателей. В известной работе (Eso and Szentes, 2007) изучаются параметры, в которых атрибут и тип покупателя входят в оценку аддитивно. В этих условиях раскрытие информации можно рассматривать как раскрытие «оценочного ранга», которое соответствует таким утверждениям, как «Ваша оценка находится в вашем x -м процентиле», причем x является одинаковым для всех типов. Авторы показывают, что в таких условиях, при определенных допущениях распределения, продавец может оптимально обеспечить полное раскрытие информации и не извлекает выгоды из связывания с ним цены на раскрытую информацию. Однако (Li and Shi, 2017) показывают, что эти выводы не соответствуют общим установкам значений, в которых типы представляют частную информацию об объекте. В этих условиях раскрытие информации можно рассматривать как раскрытие «уровня оценки», соответствующее утверждениям типа «Ваша

оценка выше x », причем x является одинаковым для всех типов. Авторы (Li and Shi, 2017) показывают, что в таких условиях продавец должен скрывать некоторую информацию, но не может определить оптимальные механизмы.

Вся эта предшествующая литература работает в одномерных условиях. При полной информации об объекте, при сравнении любых двух объектов, все типы покупателей соглашаются на их ранжирование. Однако на практике многие продукты являются многомерными с различными атрибутами, привлекательными для разных покупателей. В статье (Smolin, 2019) показано, что эти параметры могут быть успешно изучены в рамках раскрытия атрибутов и привести к качественно иным результатам. Несмотря на богатство атрибутивного пространства, оптимальные эксперименты относятся к поддающемуся трактовке классу линейных раскрытий. Оптимальные механизмы имеют частичное раскрытие, но могут быть удивительно простыми. Продавец может строго выиграть от установления цены на основе раскрытой информации.

Информационный дизайн со скринингом и денежными переводами появляется в предыдущей работе того же автора с коллегами (BBS, 2018). Там продавец предлагает меню информационных продуктов покупателю, который ищет эту информацию для решения экзогенной проблемы принятия решения; его действие не подлежит контракту. В отличие от этого, в (Smolin, 2019) проблемы продавца и покупателя переплетены и расположены в рамках многоаспектной структуры. Продавец может оценить как информацию, так и решение покупателя о покупке объекта. В результате во многих случаях продавец готов предоставить информацию бесплатно.

Наконец, статья (Smolin, 2019) существенно опирается в разных аспектах на идеи и решения, известные из более ранних работ разных авторов. Многокритериальная оценка покупателя следует модели (Lancaster, 1966). Механизм хронометража аналогичен последовательному отсеиванию (Courty and Li, 2000). Неограниченный поиск политики раскрытия информации для оптимального воздействия на одного агента является определяющей чертой байесовской литературы по убеждению (Rayo and Segal, 2010), (Kamenica and Gentzkow, 2011). Скрининговый анализ установок с одним атрибутом и целеустремленным покупателем основан на технике проектирования механизмов (Майерсона, 1981, 1982).

Заключение

Представленный краткий обзор изначально был задуман как существенно более подробный и полный, однако по ходу работы пришлось несколько сократить и список анализируемых работ, и подробность анализа. Последнее в наибольшей степени касается работ (BKPL, 2012), (Smolin, 2019) и особенно работы (Chen, Xu, Zheng, 2019). В будущем это предполагается сделать. Также следует ожидать появления новых ярких работ. Развитие цифровой экономики создает для этого мощный стимул.

Литература:

1. Admati, A. R. and Pfleiderer, P. (1986). A monopolistic market for information. *Journal of Economic Theory*, 39(2):400–438, August 1986.
2. Admati, A. R. and Pfleiderer, P. (1990). Direct and indirect sale of information. *Econometrica*, 58(4):901–28, July 1990.
3. Arrow, K. J. (1962), Economic welfare and the allocation of resources for invention. *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton University Press, Princeton NJ, 609–625.
4. Babaioff, M., Kleinberg, R. and Leme, R. Paes (2012): “Optimal Mechanisms for Selling Information,” in *Proceedings of the 13th ACM Conference on Electronic Commerce, EC '12*, pp. 92-109.
5. Balestrieri, F., and S. Izmalkov (2014): “Informed seller in a Hotelling market,” Discussion paper, HP Labs and New Economic School.
6. Bergman, D., A. Bonatti, and A. Smolin (2018): “The Design and Price of Information,” *American Economic Review*, 108, 1-48.
7. Bergmann, D., and A. Bonatti (2015): “Selling Cookies,” *American Economic Journal: Microeconomics*, 7(3), 259-294.
8. Bergmann, D., J. Shen, Y. Xu, and E. Yeh (2012): “Multi-Dimensional Mechanism Design with Limited Information,” in *Proceedings of the 13th ACM Conference on Electronic Commerce, ACM*, 162-178.
9. Bergmann, D. and M. Pesendorfer (2007): “Information Structures in Optimal Auctions,” *Journal of Economic Theory*, 137, 580-609.
10. Bergemann D. and J. Valimaki (2006). Efficient dynamic auctions. Cowles Foundation Discussion Papers 1584, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, Oct. 2006.
11. Chakraborty, A. and R. Harbaugh (2010): “Persuasion by Cheap Talk,” *American Economic Review*, 100, 2361-82.
12. Cellk, L. (2014): “Information unraveling revisited: disclosure of horizontal attributes,” *Journal of Industrial Economics*, 62(1), 113-136.
13. Chvatal, V. (1983): *Linear Programming*. Freeman and Co.
14. Chen, Y., Xu, H., Zheng, S. (2019) Selling Information Through Consulting // arXiv:1907.04397v1 [cs.GT] 9 Jul 2019
15. Clifford, S. (2009). Your online clicks have value, for someone who has something to sell. *New York Times*, March 25, 2009, 67, 697-717

16. Coase, R. (1988) *The Firms, the Market and the Law*. University of Chicago.,
17. Coase, R. (1974) *The Journal of Law and Economy*, 17, № 2 October, 1974 p.137-176
18. Cremer, J. and McLean, R. P. (1985). Optimal selling strategies under uncertainty for a discriminating monopolist when demands are interdependent. *Econometrica*, 53(2):345–61, March 1985.
19. Cremer, J. and McLean, R. P. (1988): "Full Extraction of the Surplus in Bayesian and Dominant Strategy Auctions," *Econometrica*, 56, 1247-1258.
20. Dube, J.-P. and S. Misra (2017): "Scalable Price Targeting," NBER Working Paper.
21. Detering, D., 2001. *Ökonomie der Medieninhalte. Allokative Effizienz und soziale Chancengleichheit in den Neuen Medien*. Herausgegeben von Klaus Backhaus, Heinz-Lothar Grob, Bernd Holznapel, Wolf-ram-Manfred Lippe und Gerhard W. Wittkämper. Telekommunikation und Multimedia. Band 6. Münster: LIT. Zugl.: Münster (Westf.), Univ., Diss., 1999.
22. Dwork, C. (2008): "Differential Privacy: A Survey of Results," in *International Conference on Theory and Applications of Models of Computation*, pp. 1-19. Springer.
23. Eso, P. and B. Szentes (2017): "Dynamic Contracting: An Irrelevance Theorem," *Theoretical Economics*, 12, 109-139.
24. Eso, P., and B. Szentes (2007a): "Optimal information disclosure in auctions and the handicap auction," *Review of Economic Studies*, 74(3), 705-731.
25. Eso, P., and B. Szentes (2007b): "The price of advice," *Rand Journal of Economics*, 38(4), 863-880.
26. Es'о P. and B. Szentes (2004). The price of advice. Discussion Papers 1416, Northwestern University, Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science, Dec. 2004.
27. Es'о P. and B. Szentes (2007). Optimal information disclosure in auctions and the handicap auction. *The Review of Economic Studies*, 74(3):pp. 705–731, 2007.
28. Gibbard A. (1973). Manipulation of voting schemes: a general result. *Econometrica*, 41(4):587–601, 1973.
29. Horner, J., and A. Skrzypacz (2016): "Selling information," *Journal of Political Economy*, 124(6), 1515-1562.
30. Horner and A. Skrzypacz (1982). *Selling information*. Cowles Foundation Discussion Papers 1743R, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, Dec. 2009.
31. Kamenica, E. and M. Gentzkow (2011): "Bayesian Persuasion," *American Economic Review*, 101, 2590-2615.
32. Receiver," Discussion paper, University of New South Wales.
33. Krahmer, D. (2017): "Information Disclosure and Monopolistic Screening," Discussion paper.
34. Krahmer, D. and R. Strausz (2015a): "Ex Post Information Rents in Sequential Screening," *Games and Economic Behavior*, 90, 257-273.
35. Krahmer, D. and R. Strausz (2015b): "Optimal Sales Contracts with Withdrawal Rights," *Review of Economic Studies*, 82, 762-790.
36. Lancaster, K. J. (1966): "A New Approach to Consumer Theory," *Journal of Political Economy*, 74, 132-157.
37. Lewis, T. R. and D. E. Sappington (1994): "Supplying Information to Facilitate Price Discrimination," *International Economic Review*, 309-327.
38. Li, H. and X. Shi (2017): "Discriminatory Information Disclosure," *American Economic Review*, 107, 3363-85.
39. LI, H., and X. Shi (2015): "Discriminatory Information Disclosure," Discussion paper, University of British Columbia and University of Toronto.
40. Lizzeri, A. (1999): "Information revelation and certification intermediaries," *Rand Journal of Economics*, 30(2), 214-231.
41. Manelli, A. M., and D. R. VINCENT (2006): "Bundling as an optimal selling mechanism for a multiple-good monopolist," *Journal of Economic Theory*, 127(1), 1-35.
42. Milgrom, P. R. and R. J. Weber (1982). A theory of auctions and competitive bidding. *Econometrica*, 50(5):1089–1122, September 1982.
43. Myerson, R. B. (1982): "Optimal Coordination Mechanisms in Generalized Principal-Agent Problems," *Journal of Mathematical Economics*, 10, 67-81.
44. Myerson, R. (1981): "Optimal Auction Design," *Mathematics of Operations Research*, 6, 58-73.
45. (1982): "Optimal Coordination Mechanism in Generalized Principal-Agent Problems," *Journal of Mathematical Economics*, 10, 67-81.
46. Myerson, R. (1979). Incentive-compatibility and the bargaining problem. *Econometrica*, 47:6173, 1979.
47. Mylovanov, T., and T. Troger (2014): "Mechanism Design by an Informed Principal: Private Values with Transferable Utility," *Review of Economic Studies*, 81(4), 1668-1707.
48. Ottaviani, M., and A. Prat (2001): "The value of public information in monopoly," *Econometrica*, 69(6), 1673-1683.
49. Pavan, A. Segal I., and Toikka J. (2008). *Dynamic mechanism design: Incentive compatibility, profit maximization and information disclosure*. Carlo Alberto Notebooks 84, Collegio Carlo Alberto, 2008.
50. Persico, N. (1991). Information acquisition in auctions. *Econometrica*, 68(1):135–148, January 2000.

51. Pitkethly R. (2002). The valuation of patents: a review of patent valuation methods with consideration of option based methods and the potential for further research. Background paper for discussion at first meeting of High Level Task Force on Valuation and Capitalization of Intellectual Assets. United Nations. Economic Commission for Europe. Geneva, 18-19 November 2002.
52. Rayo, L. and Segal, I. (2010): "Optimal Information Disclosure," *Journal of Political Economy*, 118, 949-987.
53. Riley, J., and R. Zeckhauser (1983): "Optimal Selling Strategies: When to Haggle, When to Hold Firm," *Quarterly Journal of Economics*, 98, 267-290.
54. Rochet, J., and J. Thanassoulis (2015): "Stochastic Bundling," Discussion paper, University of Zurich.
55. Samuelson, W. (1984): "Bargaining under Asymmetric Information," *Econometrica*, 54(4), 995-1005.
56. Shapiro, C., and H. R. Varian (1999): *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*. Harvard Business Press.
57. Shannon, C.E. (1948), *A Mathematical Theory of Communication* // *Bell System Technical Journal*. — 1948. — Т. 27. — С. 379—423, 623—656
58. Smolin, A. (2019) *Disclosure and Pricing of Attributes*, Munich Personal RePEc Archive. Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/91583/> MPRA
59. Stigler G. (1961): *The Economics of Information* // *The J. of Political Econ.* Vol. 69. № 3.
60. Stiglitz, J. E. (1977): "Monopoly, Non-Linear Pricing and Imperfect Information: The Insurance Market," *Review of Economic Studies*, 44(3), 407-430.
61. Sveiby K.E. (1998): *What is information?* [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.sveiby.com/articles/Information.html>, свободный. Яз. англ. (дата обновления 31 декабря 1998).
62. Syrgkanis, V., Kempe, D. and E' va Tardos. (2012) *Selling third-party information for common-value auctions*. Working Paper, 2012.
63. Toikka, J. (2011): "Ironing without Control," *Journal of Economic Theory*, 146(6), 25102526.
64. Varian, H. (1999). *Markets for information goods*. IMES discussion paper series. Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, 1999.
65. Varian, H. R., (1998), *Markets for information goods*. University of California, Berkeley. April 1998 (revised: October 16, 1998)
66. Varian, H.R. (2000), "Buying, Sharing and Renting Information Goods", *Journal of Industrial Economics*, 48(4); 473-88.
67. Varian, H.R. (2005), "Copying and Copyright", *Journal of Economic Perspectives*, 19(2); 121-38.
68. Wu, T. (2010). *The Master Switch: The Rise and Fall of Information Empires*. New York: Knopf (ISBN 0307269930, ISBN 978-0-307-26993-5)
69. Wu T. (2016) *The Attention Merchants. The Epic Scramble to Get Inside Our Heads*. — New York, 2016

Козырев Анатолий Николаевич (kozyrevan@yandex.ru)

Ключевые слова

атрибуты, трансформация спроса, дизайн информации, посредники, линейное раскрытие, дизайн механизма, многомерное экранирование, убеждение

Anatoly Kozyrev, Current State of Research in the Field of Information Trade

Keywords

attributes, demand transformation, information design, intermediaries, linear disclosure, mechanism design, multidimensional screening, persuasion

DOI: 10.34706/DE-2020-01-07

JEL classification: C 79 – Game Theory and Bargaining Theory; Other, D42 Market Structure and Pricing: Monopoly, D82 Asymmetric and Private Information, D83 Search, Learning, and Information

Abstract

The article provides a brief overview of scientific research in the field of information trade based on literature sources. The review focuses on works at the intersection of information technology and game theory, focused on real-world problems, such as those related to the sale of information in automated mode.