

УДК: 19.83

JEL: C7; L14; L24; P41

КООРДИНИРУЮТ ЛИ ЦЕПИ ПОСТАВОК КОНТРАКТЫ С ОБРАТНЫМ ВЫКУПОМ НЕРЕАЛИЗОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ?

И. В. Березинец¹, Н. А. Зенкевич¹, А. С. Ручьева¹, Н. К. Никольченко²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,

Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² ООО «ГСП-Комплектация»,

Российская Федерация, 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 139/1

Для цитирования: Березинец И. В., Зенкевич Н. А., Ручьева А. С., Никольченко Н. К. 2020. Координируют ли цепи поставок контракты с обратным выкупом нерезализованной продукции? *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент* **19** (4): 461–492.

<http://doi.org/10.21638/11701/spbu08.2020.403>

Концепция координации цепи поставок заключается в том, что в процессе межфирменного взаимодействия независимых участников цепи за счет их согласованных решений можно получить результат, оптимальный как для каждого участника, так и для всей цепи. Одним из механизмов координации цепи поставок являются контракты. Основной вопрос проведенного исследования: будет ли контракт с обратным выкупом координирующим? С точки зрения авторов, для того, чтобы такой контракт координировал цепь, он должен обладать следующими содержательными свойствами: практическая реализуемость, коллективная и индивидуальная рациональность. В статье дается математическое определение координирующего контракта с обратным выкупом, отражающее эти свойства. Формализация процесса принятия решения о подписании контракта с обратным выкупом основана на теоретико-игровом подходе. Процедура заключения контракта рассматривается как двухшаговая игра двух лиц (поставщика и ритейлера) в предположении, что игроки нейтральны к риску и принимают решения в условиях полной информации, рыночная цена фиксирована, а спрос на товар является случайной величиной. Показано, что контракт с обратным выкупом не координирует цепь, однако в процессе доказательства получено непустое подмножество эффективных контрактов, зависящее от цены обратного выкупа. Для таких контрактов сформулировано определение «условно координирующего контракта», отражающее свойство частичной рациональности поставщика, и доказано его существование. Установлено, что выбор цены обратного выкупа влияет на распределение прибыли между участниками цепи и решение по его выбору должно быть кооперативным. При обосновании природы кооперативного выбора условно координи-

Исследование выполнено при поддержке гранта Санкт-Петербургского государственного университета (проект № 48952577).

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2020

рующих контрактов рассматривается асимметричное решение Нэша. Все результаты получены как в общем виде, так и в предположении, что спрос на продукцию подчиняется равномерному закону распределения. В последнем случае найдены параметры условно координирующего контракта и показано, что заключить такой контракт возможно только тогда, когда поставщик обладает большей переговорной силой, чем ритейлер.

Ключевые слова: управление цепями поставок, координация цепи поставок, координирующие контракты, условно координирующие контракты с обратным выкупом.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 1990-х гг. внимание исследователей все чаще фокусируется на проблеме управления цепями поставок, о чем свидетельствует постоянный рост числа публикаций по этой теме (см., напр.: [Croom, Romano, Giannakis, 2000; Fahimnia, Sarkis, Davarzani, 2015]). Цепь поставок представляет собой сложный объект управления, поскольку включает большое количество различных видов деятельности, осуществляемых двумя или более организациями, в частности: логистику, управление запасами, закупки, планирование закупок и производства, а также управление межфирменными взаимодействиями, в том числе информационный обмен.

Постоянное усложнение организации цепи поставок, включающей в себя все большее число участников и охватывающей широкий спектр функций внутри компании, приводит к необходимости координации цепи поставок. С точки зрения процесса принятия решений по управлению цепью поставок можно выделить централизованные и децентрализованные цепи поставок. Централизованная цепь поставок характеризуется наличием единого органа принятия решений, в то время как участники децентрализованных цепей — это независимые агенты, которые действуют таким образом, чтобы максимизировать собственную выгоду, однако нередко их действия приводят к тому, что прибыль цепи оказывается меньше максимально возможной.

Согласно [Snyder, Shen, 2011], координация — это согласованные действия независимых фирм, которые позволяют получить результат, оптимальный как для участников, так и для цепи поставок. Проблема координации остается одной из актуальных тем в исследовании цепей поставок (см., напр.: [Li, Wang, 2007; Arshinder, Kanda, Deshmukh, 2008; Alfalla-Luque, Medina-Lopez, Dey, 2013; Lehoux, D'Amours, Langevin, 2014; Liu, Xu, Xu, 2015; Kumar, Singh, 2017]). Отсутствие координации в цепи поставок в дальнейшем может привести к недостаточной точности прогнозирования спроса, низкой загрузке производственных мощностей, избыточности запасов, увеличению длительности выполнения заказов, некачественному клиентскому сервису. Следствием всего этого является недополучение прибыли участниками цепи [Ramdas, Spekman, 2000].

Традиционно выделяют следующие основные механизмы координации цепи поставок: интеграцию информационных систем и обмен информацией [Hill, Scudder, 2002; Patnayakuni, Rai, Seth, 2006], управление запасами (например, со-

вместное планирование частоты заказа [Yang, Wee, 2002; Cárdenas-Barrón, 2007] и размера минимальной партии [Pyke, Cohen, 1993; Boyaci, Gallego, 2002]) и контракты [Cachon, 2003; Chen, Zhang, Sun, 2012]. К наиболее изученным механизмам координации относятся контракты: по оптовой цене, с распределением выручки [Зенкевич, Зайцева, Гладкова, 2016; Зенкевич, Гладкова, 2018; Cachon, Lariviere, 2005; Li, Zhu, Huang, 2009; Govindan, Popiuc, 2014], контракты с ретро-бонусом [Березинец и др., 2019; Taylor, 2002; Wong, Qi, Leung, 2009; Chiu et al., 2012] и контракты с обратным выкупом [Pasternack, 1985; Donohue, 2000; Wu, 2013]. В работе [Arshinder, Kanda, Deshmukh, 2008] приводится определение, согласно которому координация цепи поставок рассматривается как процесс идентификации таких параметров контракта, заключаемого между участниками цепи, которые отражают ценность координации с точки зрения улучшения показателей эффективности деятельности цепи поставок в интересах всех ее участников.

Контракты с обратным выкупом чаще всего применяются для следующих категорий товаров: сезонных [Lau, Lau, Wang, 2007], с коротким сроком годности [Wang, Webster, 2007; Krishnan, Winter, 2010], запчастей и деталей для сборки в B2B-секторе товаров [Shen, Willems, 2012], категории «люкс» [Chiu, Choi, Tang, 2011]. Кроме того, их используют в индустрии моды и издательском бизнесе [Donohue, 2000].

В России контракты с обратным выкупом нереализованной продукции получили широкое распространение в производстве и реализации продуктов питания, поскольку до 2019 г. производители скоропортящихся товаров (в первую очередь хлебобулочных изделий и молочных продуктов, а также поставщики свежего мяса и рыбы) были обязаны выкупать у ритейлеров непроданные товары с истекшим сроком годности с полной компенсацией оптовой цены. По отдельным категориям доля возвращаемого товара могла достигать 30% и более. Такая практика оказывала негативное воздействие на финансовую эффективность поставщиков, а также полностью снимала с ритейлеров ответственность за ошибки в прогнозировании спроса.

Известны случаи, когда в целях обеспечения максимальной свежести продукта на полке ритейлеры злоупотребляли возвратами¹. Например, крупные сети, имеющие достаточные складские площади в магазинах, по истечении одного дня заменяли выставленный на продажу хлеб, имеющий в запасе еще два дня срока годности, свежим с сегодняшней датой производства, а «старый» перемещали

¹ Замахина Т. 2018. Молоко не убежит на склад. Торговым сетям запретят возвращать продукты поставщикам. Российская газета. 7 ноября. URL: <https://rg.ru/2018/11/07/skoroportyashchiesia-produkty-zapretili-vozvrashchat-postavshchikam.html> (дата обращения: 20.10.2020); Ищенко Н. 2018. Госдума запретила возврат непроданных скоропортящихся продуктов поставщикам. Ведомости. 7 ноября. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/11/07/785825-gosduma-zapretila-vozvrat-neprodannih-skoroportyashchiesya-produktov-iz-magazinov-postavshchikam> (дата обращения: 24.10.2020); Гайва Е. 2019. Торговым сетям запретили возвращать продукты поставщикам. Российская газета. 6 июня. URL: <https://rg.ru/2019/06/06/torgovym-setiam-zapretili-vozvrashchat-produkty-postavshchikam.html> (дата обращения: 20.10.2020).

на склад и через два дня возвращали поставщику. Как правило, эти товары не подлежали повторной реализации, а потому нередко уничтожались. Тем не менее возможность использования обратного выкупа позволяла производителям вести более активную ассортиментную политику в рознице, чаще вводя в оборот новые продукты и обновляя ассортимент. Кроме того, использование контрактов с обратным выкупом упрощало выход на рынок новых игроков, продукция которых обычно постепенно набирает популярность, а потому предсказать спрос на нее бывает сложно.

Осенью 2018 г. в России были приняты поправки в Федеральный закон «Об основах государственного регулирования торговой деятельности в Российской Федерации»², согласно которым ритейлеры полностью лишаются права возвращать поставщику непроданные товары со сроком годности до 30 дней. Эти поправки вступили в силу с 1 июля 2019 г. Участники рынка оценивают нововведения неоднозначно³. Отмена возвратов, с одной стороны, может положительно сказаться на крупных производителях, а с другой — привести к повышению розничных цен ритейлерами, поскольку все риски ложатся на них; кроме того, вероятно постепенное сокращение ассортимента продукции сетями. Участники рынка также отмечают, что в последние два-три года ряд сетей (X5 Retail Group, «Магнит», «Дикси» и др.) в ходе совместной работы с крупными производителями уже частично или полностью отказались от систематических возвратов по некоторым категориям продуктов, в частности по хлебу и булочным изделиям⁴, хотя включение в договор условия о возврате упрощало выход на рынок новых производителей и выпуск новых товаров. В этих условиях анализ применения контрактов с обратным выкупом для координации цепей поставок становится особенно актуальным.

Статья является продолжением исследования, посвященного проблеме координации цепи поставок [Березинец и др., 2019]. Цель данной работы — ответить на вопрос: может ли применение контракта с обратным выкупом координи-

² О внесении изменений в статью 5 Федерального закона «О развитии сельского хозяйства» и Федеральный закон «Об основах государственного регулирования торговой деятельности в Российской Федерации». Федеральный закон от 28 ноября 2018. № 446-ФЗ. Ст. 2 и 3.

³ Прогноз: что будет с отраслью, если сетям запретят возвраты товаров. 2018. Milknews. 23 января. URL: <https://milknews.ru/longridy/setjam-zapretjat-vozvraty-tovarov.html> (дата обращения: 23.10.2020); Львова Н. 2018. Не навреди: запрет на возврат товара ударит по всем. Известия. 17 октября. URL: <https://iz.ru/801652/anna-lvova/ne-navredi-zapret-na-vozvrat-tovara-udarit-po-vsem> (дата обращения: 22.10.2020); Итоги октября: Поправки в закон о торговле и запрет возвратов. 2018. The DairyNews. 6 ноября. URL: <https://www.dairynews.ru/news/itogi-oktyabrya-popravki-v-zakon-o-torgovle-i-zapr.html> (дата обращения: 22.10.2020); Торговать по потребности. Из-за запрета возвращать нераспроданные продукты исчезли некоторые товары. 2019. Foodretail. 28 августа. URL: <https://foodretail.ru/news/torgovat-po-potrebnostyam-izza-zapreta-vozvrashchat-399984> (дата обращения: 23.10.2020); Загоровская В. Запрет возврата товаров: мнения и прогнозы. Независимый портал «Мясной эксперт». URL: <https://meat-expert.ru/articles/154-zapret-vozvrata-tovarov-mneniya-i-prognozu> (дата обращения: 25.10.2020).

⁴ Перцева Е. 2017. Просроченный хлеб останется в магазинах. Известия. 27 апреля. URL: <https://iz.ru/news/693548> (дата обращения: 22.10.2020).

нирывать цепь поставок? Для ответа на данный вопрос были решены следующие задачи: проанализированы основные подходы к понятию «координирующий контракт» и представлена авторская точка зрения, которая заключается в том, что содержательно координирующий контракт с обратным выкупом должен обладать свойствами практической реализуемости, а также коллективной и индивидуальной рациональности. Исходя из этого, были сформулированы определения координирующего и условно координирующего контракта с обратным выкупом, предложен алгоритм построения условно координирующего контракта, а также продемонстрирован результат его реализации в предположении, что рыночная цена фиксирована, а спрос на товар подчинен равномерному закону распределения.

Статья имеет следующую структуру. Во введении обосновывается актуальность темы и формулируется цель исследования. В первом разделе анализируются различные подходы к определению координирующего контракта с обратным выкупом, использующиеся в современных научных исследованиях. Во втором — приводится математическая постановка задачи координации цепи поставок, формулируются авторские определения координирующего и условно координирующего контрактов с обратным выкупом, а также реализуются предложенные авторами алгоритмы их построения. В третьем разделе решается задача построения условно координирующего контракта в предположении, что спрос на продукт подчинен равномерному закону распределения. На основе асимметричной схемы Нэша производится выбор параметра контракта b (цены обратного выкупа), определяющего распределение прибыли цепи между ее участниками. В заключении подводятся итог основных полученных результатов и формулируются направления дальнейших исследований.

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КООРДИНИРУЮЩЕГО КОНТРАКТА С ОБРАТНЫМ ВЫКУПОМ

Сущность координации цепи поставок состоит в том, что в процессе взаимодействия ее участники с помощью различных механизмов — контрактов, совместного планирования и управления информационными потоками — могут согласовать процессы принятия решений таким образом, чтобы повысить результативность как собственную, так и функционирования цепи в целом. При этом чаще всего в качестве показателя результативности используется прибыль.

Каким образом происходит координация цепи при помощи контрактов, или, иными словами, какой контракт следует называть координирующим? Проведенный анализ литературы показал, что однозначного ответа на сформулированный вопрос нет. Подходы к определению координирующего контракта часто разнятся, поэтому и выводы, сделанные их авторами, оказываются противоречивыми.

Данная статья посвящена обсуждению координирующего свойства контракта с обратным выкупом. Идеология контракта с обратным выкупом заключается

в следующем: поставщик предлагает ритейлеру заключить контракт (договор) на приобретение товара по оптовой цене ω (у. е.) за единицу продукции. Ритейлер закупает этот товар в объеме q единиц и продает его по цене p (у. е.) за единицу. Поставщик обязуется в конце сезона выкупить у ритейлера нереализованный товар по цене b (у. е.) за единицу. Указываемые в договоре характеристики (b , ω , q) называют параметрами контракта. От того, какие значения этих параметров выберут участники цепи, зависят как величина ожидаемой прибыли цепи, так и ее распределение между участниками. Отметим, что величины прибылей цепи и ее участников зависят не только от параметров (b , ω , q), но и от таких показателей, как: величины издержек поставщика c_S и ритейлера c_R , ликвидационная стоимость товара v за единицу продукции.

Обсуждение подходов к определению координирующего контракта с обратным выкупом для цепи из двух независимых участников начнем со свойства контракта, которое формулируется во всех найденных определениях: его применение позволяет максимизировать ожидаемую прибыль цепи (см., напр.: [Pasternack, 1985; Lariviere, 1999; Tsay, 1999; Donohue, 2000]).

Одной из первых работ, в которой контракт с обратным выкупом рассматривается как инструмент координации цепи поставок, стала статья Б. Пастернака [Pasternack, 1985]. Автор проанализировал, может ли этот контракт координировать цепь поставок в предположении, что спрос на товар является нормально распределенной случайной величиной, а розничная цена — фиксированной. Для этого он рассмотрел прибыль децентрализованной цепи, в которой решения принимаются участниками независимо, исходя из принципа максимизации собственной ожидаемой прибыли (*индивидуальная рациональность*), а потому не всегда приводят к оптимуму прибыли самой цепи, и прибыль централизованной цепи, в которой решения по управлению ею принимаются централизованно и потому всегда направлены на обеспечение максимума ее ожидаемой прибыли (*коллективная рациональность*).

Отметим, что прибыль централизованной цепи является аддитивной, т. е. может быть найдена как сумма прибылей ее участников. Под координирующим контрактом Пастернак понимал контракт, обеспечивающий равенство ожидаемых прибылей децентрализованной и централизованной цепей. Тогда максимум ожидаемой прибыли децентрализованной цепи, соответствующий такому контракту, будет равен максимуму ожидаемой прибыли централизованной цепи. Отметим, что, согласно определению Пастернака, координирующий контракт обладает свойством *парето-оптимальности*, или *коллективной рациональности участников*.

В статье рассмотрены два случая: 1) объем возврата не ограничен (т. е. ритейлер может вернуть поставщику до 100% от заказа); 2) объем возврата ограничен некоторой долей от величины заказа [Pasternack, 1985]. Было доказано, что если величина возврата не ограничена, то контракт с обратным выкупом всегда будет координировать цепь. Если в контракте оговаривается ограничение на величину

ну возврата, то он будет координирующим только для цепи из двух участников: поставщика и ритейлера. Цепь, состоящую из поставщика и нескольких ритейлеров, такой контракт уже не координирует. Автор обосновывает это тем, что параметры координирующего контракта зависят от вида закона распределения спроса на товар. Если ритейлеров несколько, то спрос на реализуемый ими товар будет подчиняться разным законам распределения и уже невозможно однозначно определить параметры координирующего контракта.

Работа Пастернака стала одной из первых по координации цепи поставок, и поэтому его подход к определению координирующего контракта получил наибольшее распространение в научной литературе, анализирующей применение контракта с обратным выкупом в различных моделях цепей поставок. Развивая тему, авторы последующих статей модифицировали рассматриваемые модели, но сохраняли подход к координирующему контракту, предложенный в [Pasternack, 1985].

Например, в [Krishnan, Kapuscinski, Butz, 2004] рассматривается задача построения такого координирующего контракта, который учитывал бы усилия ритейлера по продаже товара и связанные с этим моральные дилеммы. Определение координирующего контракта авторы заимствовали из [Pasternack, 1985] и показали, что контракт с обратным выкупом координирует цепь поставок, мотивируя ритейлера заказывать больший объем товара. Однако они акцентировали внимание на том факте, что на практике условие обратного выкупа приводит к возникновению моральной дилеммы ритейлера. В частности, из-за того, что возможность вернуть непроданный товар снижает усилия ритейлера по продаже товара, нивелируются координирующие свойства контракта с обратным выкупом.

Поскольку ритейлер делит риски потенциальных потерь с поставщиком (за счет условия обратного выкупа), то он может прикладывать меньше усилий для продажи товара (например, снижать затраты на рекламу, выкладывать меньше товара в торговом зале), так как имеет возможность вернуть нераспроданный товар в конце сезона и компенсировать часть оптовой цены. Во избежание подобной ситуации авторы предлагают включать в контракт с обратным выкупом дополнительные условия, регулирующие усилия ритейлера по стимулированию продаж, и отмечают, что подобные проблемы отсутствуют при применении контракта с распределением выручки.

Ю. Шен и С. Виллемс [Shen, Willems, 2012] рассматривают координацию цепи поставок с использованием контрактов в ситуации асимметрии информации между участниками сети: предполагается, что информация о затратах ритейлера является закрытой. Координирующий контракт определяется ими, как и в [Pasternack, 1985], но отмечается, что ни один из участников цепи не должен иметь отрицательную ожидаемую прибыль (*свойство практической реализуемости контракта*). Авторам удалось построить такой контракт с обратным выкупом, который координирует цепь для любой величины затрат ритейлера.

В работе [Katok, Wu, 2009] описываются результаты эксперимента, сравнивающего прибыли цепи при использовании трех наиболее распространенных контрактов: контракта по оптовой цене и двух координирующих контрактов с обратным выкупом и распределением выручки. Координирующим считается такой контракт, который обеспечивает равенство ожидаемых прибылей централизованной и децентрализованной цепей. Авторы установили, что в координирующих контрактах прибыль цепи будет больше, чем в случае контракта по оптовой цене, но не максимальной. Проведенный эксперимент показал, что прибыль цепи при контракте по оптовой цене оказалась больше, чем предсказывала теория, но все равно меньше, чем при использовании координирующих контрактов.

В статье [Kouvelis, Zhao, 2015] проанализирована возможность построения координирующих контрактов в цепях, участники которых имеют финансовые ограничения и нуждаются в заемных средствах. Применяя определение координирующего контракта [Pasternack, 1985], авторы рассмотрели дополнительные параметры контракта, отвечающие за долговую нагрузку участников цепи и учитывающие риск их банкротства. Несмотря на то что и в этом случае контракт с обратным выкупом остается координирующим, он парето-доминируется контрактом с распределением выручки. Поэтому последний контракт они считают предпочтительным в данной ситуации.

Традиционно координирующие контракты анализируются для цепи из двух участников — поставщика и ритейлера. В зависимости от постановки задачи в роли поставщика может выступать производитель как конечного продукта, так и деталей для его сборки, или оптовый дистрибьютор, а в роли ритейлера, например, сборочное производство, розничный магазин или более мелкий дистрибьютор. Тем не менее в ряде исследований рассматривается проблема построения координирующих контрактов для цепей с более чем двумя участниками. Например, в [Krishnan, Winter, 2010] исследована цепь из одного производителя и нескольких ритейлеров, которым он поставляет товар. Авторы предполагают, что при недостаточной величине запасов товаров с коротким сроком хранения между ритейлерами возникает избыточная конкуренция по цене, что приводит к недополучению прибыли всеми участниками цепи. В работе показано, что в этом случае контракт с обратным выкупом может координировать цепь, согласно определению [Pasternack, 1985], положительно влияя как на решение ритейлеров о величине запасов, так и на установление более высокой розничной цены.

В статье [Zou, Pokharel, Piplani, 2008] анализируется двухпериодная модель закупки (происходят две транзакции) для цепи, в которой взаимодействуют сборщик конечного продукта и два поставщика деталей. Авторы проанализировали применение для координации цепи контракта с обратным выкупом и контракта по оптовой цене. В рамках рассматриваемой модели было доказано, что контракт по оптовой цене не является координирующим, согласно [Pasternack, 1985], однако при определенных ограничениях на оптовую цену и цену обратного выкупа можно построить координирующий контракт с обратным выкупом.

Подводя итог обсуждению определения координирующего контракта, предложенному в [Pasternack, 1985], необходимо подчеркнуть следующее. Координирующий контракт дает возможность скоординировать взаимодействие независимых участников таким образом, что результат будет оптимальным для цепи. Например, за счет его применения можно максимизировать ожидаемую прибыль (свойство коллективной рациональности). Однако, как отмечалось в [Snyder, Shen, 2011], координация должна обеспечивать результат, который будет оптимален не только для цепи, но и для каждого ее участника.

Подход к определению координирующего контракта, в котором учитываются интересы участников цепи, был предложен в работах, изучающих координацию в цепи на основе теоретико-игрового подхода. В исследованиях [Cachon, 2003; Chen, Chen, Chen, 2006; Chen, Shum, Semchi-Levi, 2014], помимо максимизации ожидаемой прибыли цепи (*свойство коллективной рациональности*), было добавлено условие, в соответствии с которым координирующий контракт должен обеспечивать равновесие по Нэшу в игре двух лиц — поставщика и ритейлера (*свойство индивидуальной рациональности участников*).

Условия координирующего контракта таковы, что ни одному из участников невыгодно уклониться от его исполнения. Например, если поставщик в одностороннем порядке изменит оптовую цену или ритейлер сделает заказ, отличающийся от указанного в контракте, то их ожидаемые прибыли окажутся меньше, чем при соблюдении условий контракта.

В классической работе Г. П. Кашона [Cachon, 2003] рассмотрен контракт с обратным выкупом в предположении, что объем возврата не ограничен, а розничная цена фиксирована. В соответствии с принятым определением, контракт с обратным выкупом является координирующим, если при его использовании ожидаемая прибыль цепи будет максимальной и при этом обеспечивается равновесие по Нэшу. Таким образом, Кашон под координирующим контрактом понимает такой, который помимо свойства коллективной рациональности обладает также свойством индивидуальной рациональности. При этом контракт признается координирующим только в том случае, если его использование не приводит к ситуации, когда вся прибыль цепи достается одному из участников, поскольку тогда контракт не вызовет интереса у второго участника и не будет заключен (свойство практической реализуемости). Это требование исключает из модели случай $p = \omega$ и $c_s = \omega$. При разных значениях параметров ω и b (оптовой цены и цены обратного выкупа) ожидаемая прибыль цепи по-разному распределяется между ее участниками, а потому их выбор является предметом переговоров. Автор пришел к выводу, что контракт с обратным выкупом является координирующим, а распределение прибыли между участниками сети зависит от значения параметров контракта ω и b , и установил функциональную зависимость между этими параметрами, обеспечивающую координацию цепи.

Последователи подхода Кашона в основном модифицировали исходную модель, добавляя участников, предположение о склонности к риску и т. п. В статье

[Chen, Chen, Chen, 2006] анализируется цепь поставок, состоящая из поставщика и ритейлера. Поставщик вынужден принимать решение об объемах производства товара задолго до начала сезона продаж, когда точность прогноза спроса очень низка, а выбор объема заказа товара ритейлером происходит непосредственно перед началом сезона продаж, когда точность прогноза спроса гораздо выше. Используя подход Кашона к определению координирующего контракта, авторы показали, что для рассматриваемой цепи контракт с обратным выкупом перестает быть координирующим, и предложили его модификацию. К трем параметрам контракта обратного выкупа они добавили еще один, позволяющий учесть риск перепроизводства, который готов взять на себя каждый участник, при распределении прибыли. Чем больший риск берет на себя участник, тем большую долю прибыли цепи он получит.

В работе [Chen, Shum, Semchi-Levi, 2014] рассматривается цепь поставок, состоящая из одного ритейлера и нескольких поставщиков. Предполагается, что все участники цепи не склонны к риску. Авторы пишут, что контракт, координирующий такую цепь, по Пастернаку (т. е. обладающий только свойством коллективной рациональности), может оказаться «нестабильным», поскольку рационально действующие игроки могут отказаться от его заключения (свойство практической реализуемости). Исходя из этого, они предлагают использовать подход к определению координирующего контракта, предложенный Кашоном, и на его основе строят «стабильный» координирующий контракт.

В ряде работ, основанных на теоретико-игровом моделировании, в качестве координирующего рассматривается такой контракт, который обеспечивает справедливое распределение риска между участниками цепи [Arshinder, Kanda, Deshmukh, 2008] или, в случае нарушения предположения о риск-нейтральности игроков, парето-оптимальный контракт, обеспечивающий всем участникам минимальный приемлемый для них уровень ожидаемой прибыли [Gan, Sethi, Yan, 2004; 2005; Heydari, Choi, Radkhah, 2017].

Таким образом, выводы исследователей, отвечающих на вопрос о том, является контракт с обратным выкупом координирующим или нет, зависели от того, какое определение координирующего контракта было ими выбрано: основанное на требовании только коллективной рациональности или коллективной и индивидуальной рациональности одновременно.

В настоящей статье координация рассматривается как вид межфирменного взаимодействия участников цепи поставок, которое направлено на повышение результативности как ее участников, так и всей цепи. Основываясь на этой концепции и проведенном анализе определений координирующего контракта, можно сделать вывод о том, что координирующий контракт должен обладать такими содержательными свойствами, как: 1) практическая реализуемость; 2) индивидуальная рациональность; 3) коллективная рациональность.

Согласно первому свойству, параметры контракта и соотношение между ними (а значит, и сам контракт) позволяют так выстраивать межфирменное взаи-

модействии, что каждому участнику цепи гарантируется положительная ожидаемая прибыль (контракт выгоден всем участникам, невозможна ситуация получения прибыли сети одним участником или отрицательной прибыли у кого-либо из участников).

Второе свойство предполагает, что ни у одного из участников цепи поставок нет индивидуальных рациональных стимулов к отклонению от параметров координирующего контракта, полученных в соответствии с выбранной процедурой принятия решения.

Из третьего свойства следует, что у участников цепи нет коллективных рациональных стимулов к изменению параметров контракта, выбранных в соответствии с процедурой принятия решений. В следующем разделе сформулированные свойства координирующего контракта будут отражены в модели контракта с обратным выкупом и формализованы в математическом определении координирующего контракта.

ПОСТРОЕНИЕ КООРДИНИРУЮЩЕГО И УСЛОВНО КООРДИНИРУЮЩЕГО КОНТРАКТА С ОБРАТНЫМ ВЫКУПОМ НЕРЕАЛИЗОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ

При моделировании контракта с обратным выкупом предполагается, что оба участника действуют рационально, т. е. максимизируют свою полезность, нейтральны к риску и обладают полной информацией об уровне издержек друг друга: c_S — издержки поставщика на производство единицы товара, c_R — издержки ритейлера на реализацию единицы продукции.

Из свойства практической реализуемости контракта с обратным выкупом следует, что оптовая цена меньше розничной, но больше, чем издержки поставщика на единицу продукции, а ликвидационная стоимость не превышает издержки поставщика на единицу продукции:

$$0 < v < c_S < \omega < p.$$

При рассмотрении контракта с обратным выкупом исключается случай $\omega = p$, так как если предположить, что оптовая цена равна розничной, то прибыль ритейлера будет равна нулю, если издержки ритейлера на единицу продукции $c_R = 0$, и будет отрицательной, если $c_R > 0$. Как показывает практика, наценка в продовольственном ритейле обычно составляет 40% и более (см., напр.: [Иванова, Тихонов, Таточенко, 2016; Tatchenko, Tatchenko, 2017]), поэтому ритейлер даже не будет рассматривать контракт, в котором оптовая цена равна розничной [Pasternack, 1985; Taylor, 2002; Xiao, Shi, Yang, 2010; Chiu et al., 2012; Dai, Li, Sun, 2012].

В свою очередь, цена обратного выкупа не превышает оптовую цену, но при этом будет больше ликвидационной стоимости товара:

$$v < b \leq \omega.$$

Обозначим через $Prof_R$, $Prof_S$, $Prof_{SC}$ прибыли за одну транзакцию ритейлера, поставщика и цепи поставок соответственно.

$$Prof_{SC} = Prof_R + Prof_S.$$

Через X_S и X_R обозначим множества стратегий первого S и второго R игрока соответственно:

$$X_S = \{(b, \omega) \mid v < b \leq \omega; 0 < c_S < \omega\},$$

$$X_R = \{q(b, \omega) \mid q \geq 0\},$$

а через Π_S, Π_R — их функции выигрыша (ожидаемые прибыли поставщика и ритейлера соответственно):

$$\Pi_S = \Pi_S(b, \omega, q) = \Pi_S(b, \omega(b), q(b, \omega(b))) = E[\text{Prof}_S((b, \omega(b), q(b, \omega(b))))],$$

$$\Pi_R = \Pi_R(b, \omega, q) = \Pi_R(b, \omega(b), q(b, \omega(b))) = E[\text{Prof}_R((b, \omega(b), q(b, \omega(b))))],$$

где $E[\cdot]$ — математическое ожидание, а запись $\omega(b)$ означает, что ω принадлежит стратегии (b, ω) .

Ожидаемую прибыль цепи поставок обозначим через $\Pi_{SC}(q) = E[\text{Prof}_{SC}(q)]$,

а через q_{SC}^* — точку максимума этой функции, т. е. $\Pi_{SC}(q_{SC}^*) = \max_q \Pi_{SC}(q)$.

Далее для простоты изложения будем опускать аргументы функций Π_S, Π_R и Π_{SC} . Очевидно, что $\Pi_{SC} = \Pi_S + \Pi_R$.

Формализуем процедуру принятия решения по выбору параметров контракта с обратным выкупом как двухшаговую игру двух лиц: S (поставщика) и R (ритейлера). На первом шаге игрок S предлагает R приобрести продукцию по оптовой цене ω и цене обратного выкупа непроданной продукции b . Исходя из предложенных условий на втором шаге, второй игрок R выбирает объем закупаемой продукции q . Как отмечалось, игроки действуют рационально, стремясь на каждом шаге максимизировать свой возможный выигрыш (индивидуальная рациональность) и совместный выигрыш (коллективная рациональность). Основываясь на таком поведении игроков, дадим определение координирующего контракта с обратным выкупом.

Определение 1. Будем говорить, что контракт с обратным выкупом координирует цепь поставок, если найдется такой набор параметров этого контракта (b^*, ω^*, q^*) , который удовлетворяет следующим условиям:

$$1) \max_q \Pi_R(b, \omega(b), q) = \Pi_R(b, \omega(b), q_R^*(b, \omega(b))), \forall (b, \omega) \in X_S;$$

2) существует такая функция $\omega^*(b)$, для которой будет выполняться условие:

$$q_R^*(b, \omega^*(b)) = q_{SC}^* = q^*, \forall (b, \omega^*(b)) \in X_S;$$

$$3) \max_b \Pi_S(b, \omega(b), q^*) = \Pi_S(b^*, \omega^*, q^*), \text{ где } \omega^* = \omega^*(b).$$

Проверим, существует ли такой набор параметров контракта с обратным выкупом (b^*, ω^*, q^*) , при котором он будет координирующим. Предположим, что спрос на товар является непрерывной случайной величиной ξ с положительной плотностью распределения $f_\xi(x)$ и возрастающей функцией распределения $F_\xi(x)$,

принимаящей нулевые значения для отрицательных x . Через τ обозначим еще одну случайную величину — объем проданной продукции. Предположим, что $\tau = g(\xi)$, где:

$$\tau = g(\xi) = \begin{cases} \xi, & \text{если } 0 \leq \xi < q, \\ q, & \text{если } \xi \geq q \end{cases}$$

Вычислим математическое ожидание случайной величины τ :

$$\begin{aligned} E[\tau] &= E[g(\xi)] = \int_0^{+\infty} g(x) f_\xi(x) dx = \\ &= \int_0^q x f_\xi(x) dx + \int_q^{+\infty} q f_\xi(x) dx = \int_0^q x f_\xi(x) dx + q \int_q^{+\infty} f_\xi(x) dx. \end{aligned}$$

Получим:

$$E[\tau] = \int_0^q x f_\xi(x) dx + q(1 - F_\xi(q)).$$

Так как

$$\int_0^q x f_\xi(x) dx = x F_\xi(x) \Big|_0^q - \int_q^{+\infty} F_\xi(x) dx = q F_\xi(q) - \int_0^q F_\xi(x) dx,$$

то выражение для $E[\tau]$ перепишем следующим образом:

$$E[\tau] = q - \int_0^q F_\xi(x) dx.$$

Вычислим производную от $E[\tau]$ по переменной q :

$$\frac{d}{dq} E[\tau] = 1 - F_\xi(q).$$

Традиционно в литературе рассматриваются два типа контрактов с обратным выкупом в зависимости от того, кто реализует остатки непроданной продукции [Pasternack, 1985; Donohue, 2000; Cachon, 2003; Bernstein, Federgruen, 2005; Becker-Peth, Katok, Thonemann, 2013]. Это может быть либо ритейлер, которому поставщик выплачивает компенсацию за каждую единицу непроданного товара b , а остатки товара остаются у ритейлера и могут быть им реализованы в конце сезона по ликвидационной стоимости v , либо поставщик, которому ритейлер возвращает непроданный товар. От того, к какому типу относится контракт с обратным выкупом, будут зависеть вид функции прибыли и результаты решения задачи построения координирующего контракта. В этой статье ограничимся рассмотрением контракта первого типа, обозначая все получаемые результаты индексом $bb1$.

Рассмотрим контракт с обратным выкупом первого типа и выпишем выражения для функций прибыли цепи и участников цепи для этого случая:

$$Prof_R^{bb1}(b, \omega, q) = p\tau + (b + v)(q - \tau) - (\omega + c_R)q = (p - b - v)\tau - (\omega + c_R - b - v)q,$$

$$Prof_S^{bb1}(b, \omega, q) = q\omega - c_S q - b(q - \tau) = b\tau + (\omega - c_S - b)q,$$

$$Prof_{SC}(q) = Prof_R + Prof_S = (p - v)\tau + (v - c)q,$$

где c — суммарные издержки, т. е. $c = c_S + c_R$.

Найдем выражения для ожидаемых прибылей участников цепи и цепи поставок:

$$\Pi_R^{bb1}(b, \omega, q) = E[Prof_R^{bb1}(b, \omega, q)] = (p - b - v)(q - \int_0^q F_\xi(x) dx) - (\omega + c_R - b - v)q,$$

$$\Pi_S^{bb1}(b, \omega, q) = E[Prof_S^{bb1}(b, \omega, q)] = b(q - \int_0^q F_\xi(x) dx) + (\omega - c_S - b)q,$$

$$\Pi_{SC}(q) = E[Prof_{SC}(q)] = (p - v)(q - \int_0^q F_\xi(x) dx) + (v - c)q.$$

Для дальнейшего анализа контракта с обратным выкупом первого типа обсудим следующие важные предположения, вытекающие из свойства практической реализуемости контракта. Во-первых, должно выполняться условие $p > \omega + c_R$: если $p \leq \omega + c_R$, то ритейлер не будет заинтересован в реализации такого контракта.

Во-вторых, контракт будет реализован только при выполнении условия $p > b + v$. В противном случае если $p \leq b + v$, то будет выполняться неравенство $\omega + c_R < b + v$. Тогда функция ожидаемой прибыли ритейлера будет бесконечно возрастать по q , так как за каждую непроданную единицу ритейлер будет получать компенсацию $b + v$, превышающую его затраты на ее приобретение $\omega + c_R$. Таким образом, ритейлеру будет выгодно заказывать бесконечно много товара у поставщика, не продавать его по розничной цене p за единицу в течение сезона, а реализовать его в конце сезона по ликвидационной стоимости v , получая за каждую единицу товара компенсацию в размере b от поставщика.

Будет ли контракт с обратным выкупом координировать цепь? Для ответа на этот вопрос последовательно проверим, будут ли выполняться все условия из определения координирующего контракта. Начнем с первого из них. Поскольку ритейлеру известны предложенные поставщиком оптовая цена ω и цена обратного выкупа b , то он будет выбирать объем закупаемой продукции q таким образом, чтобы максимизировать ожидаемую прибыль Π_R^{bb1} . Найдем первую производную функции Π_R^{bb1} и приравняем ее к нулю:

$$\frac{\partial \Pi_R^{bb1}(b, \omega, q)}{\partial q} = (p - b - v)(1 - F_\xi(q)) - (\omega + c_R - b - v) = 0.$$

Получим:

$$F_{\xi}(q) = \frac{p - \omega - c_R}{p - b - v}.$$

По предположению функция $F_{\xi}(x)$ возрастающая, следовательно, для нее существует обратная функция. Значит, стационарная точка функции Π_R^{bb1} будет удовлетворять соотношению:

$$q_R^0 = F_{\xi}^{-1}\left(\frac{p - \omega - c_R}{p - b - v}\right). \quad (1)$$

Проверим, будет ли стационарная точка точкой максимума, для этого найдем вторую производную функции Π_R^{bb1} :

$$\frac{\partial^2 \Pi_R^{bb1}(b, \omega, q)}{\partial q^2} = -(p - b - v) f_{\xi}(q).$$

Функция плотности распределения $f_{\xi}(x)$ положительная, кроме того, имеет место неравенство $p > b + v$, поэтому вторая производная функции Π_R^{bb1} будет отрицательной, и стационарная точка q_R^0 , задаваемая выражением (1), будет точкой максимума.

Перейдем к проверке выполнения второго условия из определения координирующего контракта, а именно — проверим, можно ли найти такую оптовую цену $\omega^*(b)$, для которой выполняется равенство:

$$q_R^* = q_{SC}^* = q^*.$$

Для этого сначала найдем q_{SC}^* — точку максимума ожидаемой прибыли цепи Π_{SC} . Вычислим первую производную функции $\Pi_{SC}(q)$ и приравняем ее к 0:

$$\frac{d\Pi_{SC}(q)}{dq} = (p - v)(1 - F_{\xi}(q)) + v - c = 0.$$

Отсюда получаем, что

$$F_{\xi}(q_{SC}^0) = \frac{p - c}{p - v},$$

и стационарную точку функции ожидаемой прибыли цепи можно найти из соотношения:

$$q_{SC}^0 = F_{\xi}^{-1}\left(\frac{p - c}{p - v}\right). \quad (2)$$

Вычислим вторую производную функции ожидаемой прибыли цепи:

$$\frac{d^2 \Pi_{SC}(q)}{dq^2} = -(p - v) F'_{\xi}(q_{SC}^0) = -(p - v) f_{\xi}(q_{SC}^0)$$

Так как по условию $v < p$, а функция плотности распределения $f_{\xi}(x)$ положительна, то вторая производная рассматриваемой функции будет меньше нуля. Следовательно, найденная стационарная точка q_{SC}^0 будет точкой максимума функции Π_{SC} :

$$q_{SC}^* = F_{\xi}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-v}\right)$$

Проверим, можно ли найти такую оптовую цену за единицу продукции $\omega^*(b)$, для которой $q_{SC}^* = q_R^*$. Выпишем следующее равенство:

$$F_{\xi}^{-1}\left(\frac{p-\omega-c_R}{p-b-v}\right) = F_{\xi}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-v}\right).$$

В силу монотонности функции $F_x(x)$ из равенства значений обратных функций получаем равенство аргументов:

$$\frac{p-\omega-c_R}{p-b-v} = \frac{p-c}{p-v}.$$

Из последнего равенства находим искомую оптовую цену, которую для контракта первого типа обозначим через $\omega_1^*(b)$:

$$\omega_1^*(b) = c_S + \frac{p-c}{p-v} b. \quad (3)$$

Проверим выполнение третьего условия из определения 1, т.е. можно ли найти такое значение параметра b (цены обратного выкупа непроданной продукции), при котором ожидаемая прибыль поставщика также будет максимальной. По предположению $b \leq \omega$, однако в [Pasternack, 1985] доказано, что в случае, когда $b = \omega$, контракт с обратным выкупом не координирует цепь. Поэтому здесь и далее будем рассматривать задачу построения координирующего контракта в предположении $b < \omega$.

Преобразуем выражение для ожидаемой прибыли поставщика:

$$\begin{aligned} \Pi_S^{bb1}(b, \omega_1^*(b), q^*) &= (\omega^* - c_S - b)q^* + b(q^* - \int_0^{q^*} F_{\xi}(x) dx) = \\ &= (\omega^* - c_S)q^* - b \int_0^{q^*} F_{\xi}(x) dx = \frac{p-c}{p-v} b q^* - b \int_0^{q^*} F_{\xi}(x) dx = b \left(\frac{p-c}{p-v} q^* - \int_0^{q^*} F_{\xi}(x) dx \right) \end{aligned}$$

и подставим в него выражения (2) и (3) для q^* и $\omega_1^*(b)$. Получим

$$\Pi_S^{bb1}(b, \omega_1^*(b), q^*) = b \left(\frac{p-c}{p-v} F_{\xi}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-v}\right) - \int_0^{F_{\xi}^{-1}\left(\frac{p-c}{p-v}\right)} F_{\xi}(x) dx \right).$$

Рассмотрим функцию $\Pi_S^{bb1}(b, \omega_1^*(b), q^*)$ как функцию одной переменной b , где $b \in D(b)$. Поскольку $v < b < \omega_1^*(b)$, то

$$D(b) = \left\{ b : v \frac{p-v}{c-v} < b < c_S \frac{p-v}{c-v} \right\}.$$

Отметим, что множество $D(b)$ — это открытое множество, поэтому задача поиска наибольшего значения функции $\Pi_S^{bb1}(b, \omega_1^*(b), q^*)$ сводится к задаче поиска точки ее локального максимума. Очевидно, что функция $\Pi_S^{bb1}(b, \omega_1^*(b), q^*)$, где $b \in D(b)$, является линейной функцией от b , так как второй сомножитель от b не зависит, т. е. его знак определяет, будет она либо возрастающая либо убывающая. В любом случае на рассматриваемом множестве $D(b)$ эта функция не имеет ни локального максимума, ни наибольшего значения.

Таким образом, задача нахождения максимума ожидаемой прибыли поставщика не имеет решения, а значит, невозможно найти такой контракт с обратным выкупом (b^*, ω^*, q^*) , который будет координировать цепь. Однако в ходе решения задачи нахождения координирующего контракта с обратным выкупом удалось получить следующий важный результат: построено непустое подмножество эффективных контрактов $(b^*, \omega^*(b), q^*)$, $b \in D(b)$, удовлетворяющих первому (индивидуальная рациональность ритейлера) и второму (коллективная рациональность) условиям определения 1.

Используем этот результат и сформулируем понятие условно координирующего контракта, удовлетворяющего условиям 1 и 2 координирующего контракта и свойству частичной рациональности поставщика.

Перед тем как дать определение условно координирующего контракта с обратным выкупом, остановимся на понятии контракта по оптовой цене и приведем выражения для ожидаемых прибылей цепи и ее участников при использовании контракта этого типа. В контракте по оптовой цене поставщик предлагает ритейлеру купить товар по оптовой цене ω_{wp} , а ритейлер приобретает товар в объеме q_{wp} , т. е. контракт по оптовой цене описывается двумя параметрами (ω_{wp}, q_{wp}) . При этом будут иметь место следующие ограничения: $0 < v < c_S < \omega_{wp} < p$.

Выражения для ожидаемых прибылей цепи $\Pi_{SC}^{wp}(q_{wp})$, поставщика $\Pi_S^{wp}(\omega_{wp}, q_{wp})$ и ритейлера $\Pi_R^{wp}(\omega_{wp}, q_{wp})$ будут иметь вид:

$$\Pi_{SC}^{wp}(q_{wp}) = (p - v)(q_{wp} - \int_0^q F_\xi(x) dx) + (v - c)q_{wp},$$

$$\Pi_S^{wp}(\omega_{wp}, q_{wp}) = (\omega_{wp} - c_S)q_{wp},$$

$$\Pi_R^{wp}(\omega_{wp}, q_{wp}) = (p - v)(q_{wp} - \int_0^q F_\xi(x) dx) - (\omega_{wp} + c_R - v)q_{wp}.$$

Сформулируем определение условно координирующего контракта с обратным выкупом непроданной продукции. Обозначим через q_{wp}^* точку максимума ожидаемой прибыли ритейлера, т. е. $\max_q \Pi_R^{wp}(\omega, q) = \Pi_R(\omega, q_{wp}^*)$.

Определение 2. Если найдется контракт с обратным выкупом (b^0, ω^*, q^*) , удовлетворяющий условиям 1 и 2 *определения 1* и такой, что будет выполняться неравенство:

$$\Pi_S^{bb}(b^0, \omega^*(b^0), q^*) > \Pi_S^{wp}(\omega^*(b^0), q_{wp}^*),$$

то будем называть его условно координирующим.

Это условие свидетельствует о том, что ожидаемая прибыль поставщика при использовании контракта с обратным выкупом будет больше, чем при использовании контракта по оптовой цене при той же оптовой цене $\omega^*(b^0)$. Будем называть его свойством частичной индивидуальной рациональности поставщика.

Алгоритм построения условно координирующих контрактов рассмотрим в следующем разделе в предположении, что спрос на продукцию подчиняется равномерному закону распределения.

ПОСТРОЕНИЕ УСЛОВНО КООРДИНИРУЮЩЕГО КОНТРАКТА С ОБРАТНЫМ ВЫКУПОМ НЕРЕАЛИЗОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ, ЧТО СПРОС ПОДЧИНЯЕТСЯ РАВНОМЕРНОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Рассмотрим решение задачи построения условно координирующего контракта с обратным выкупом в предположении, что спрос на продукцию является случайной величиной, равномерно распределенной на отрезке $[0, \beta]$. В этом случае функция распределения случайной величины ξ будет иметь вид:

$$F_\xi(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < 0, \\ \frac{x}{\beta}, & \text{если } 0 \leq x \leq \beta, \\ 1, & \text{если } x > \beta, \end{cases}$$

а математическое ожидание $E[\tau]$ будет равно:

$$E[\tau] = q - \int_0^q \frac{x}{\beta} dx = q - \frac{q^2}{2\beta}. \quad (4)$$

С учетом найденного значения $E[\tau]$ перепишем выражения для ожидаемых прибылей цепи и ее участников (табл. 1). В этой же таблице приведем выражения ожидаемых прибылей цепи, поставщика и ритейлера для контракта по оптовой цене.

Таблица 1. Выражения для ожидаемых прибылей цепи, поставщика и ритейлера в предположении о равномерном распределении спроса на товар

Ожидаемая прибыль цепи	Ожидаемая прибыль поставщика	Ожидаемая прибыль ритейлера
Π_{SC}^{bb1}	Π_S^{bb1}	Π_R^{bb1}
$(p-c)q + \frac{q^2}{2\beta}(v-p)$	$(\omega - c_s)q - b\frac{q^2}{2\beta}$	$(p - \omega - c_R)q - \frac{q^2}{2\beta}(p - b - v)$
Π_{SC}^{wp}	Π_S^{wp}	Π_R^{wp}
$(p-c)q + \frac{q^2}{2\beta}(v-p)$	$(\omega - c_s)q$	$(p - \omega - c_R)q - (p-v)\frac{q^2}{2\beta}$

Подставим выражение для функции распределения спроса в выражение (2) и получим выражение для оптимального объема продукции, при котором ожидаемая прибыль цепи будет максимальна:

$$q_{SC}^* = \beta \frac{p-c}{p-v}.$$

Как было показано, если оптовая цена для контракта с обратным выкупом первого типа задается выражением (3), то объем q_{SC}^* будет равен q_R^* .

Для дальнейших рассуждений найденные $\omega_1^*(b)$ и q^* подставим в выражение ожидаемой прибыли поставщика $\Pi_S^{bb1}(b, \omega_1^*(b), q^*)$ для контракта с обратным выкупом первого типа, соответственно:

$$\Pi_S^{bb1} = (c_s + \frac{p-c}{p-v}b - c_s)\beta \frac{p-c}{p-v} - b\beta \frac{(p-c)^2}{2(p-v)^2} = b\beta \frac{(p-c)^2}{2(p-v)^2}.$$

Теперь перейдем к проверке, будет ли контракт с обратным выкупом непроданной продукции условно координирующим. По предположению игроки действуют рационально, поэтому объем заказа ритейлера q зависит от параметров контракта и будет различным в случае контракта по оптовой цене и контракта с обратным выкупом даже при одном и том же значении параметра ω^* .

Выясним, каким дополнительным ограничением должен удовлетворять параметр b , чтобы ожидаемая прибыль поставщика в случае применения контракта с обратным выкупом была больше, чем при использовании контракта по оптовой цене. Зафиксируем одну и ту же оптовую цену за единицу закупаемой продукции, обозначим ее ω_{fix} и сравним значения функций ожидаемых прибылей поставщика для каждого из указанных выше контрактов. Важно отметить, что в качестве такой оптовой цены ω_{fix} будут рассматриваться только те значения, которые удовлетворяют второму условию определения координирующего контракта с обратным выкупом, т. е. $\omega_1^*(b)$.

Сначала рассмотрим функцию ожидаемой прибыли поставщика для контракта по оптовой цене:

$$\Pi_S^{wP} = q(\omega_{fix} - c_S). \quad (5)$$

При использовании этого контракта ритейлер также действует рационально и выбирает объем заказа, максимизирующий функцию ожидаемой прибыли Π_R^{wP} . Легко показать, что оптимальный объем закупаемой им продукции в этом случае q_{wp}^* равен:

$$q_{wp}^* = \beta \frac{p - \omega_{fix} - c_R}{p - v}.$$

Подставим найденное значение q_{wp}^* в выражение для Π_S^{wP} (5):

$$\Pi_S^{wP} = \beta(\omega_{fix} - c_S) \frac{p - \omega_{fix} - c_R}{p - v}. \quad (6)$$

Для того чтобы контракт с обратным выкупом первого типа был условно координирующим, ожидаемая прибыль поставщика Π_S^{bb1} должна быть больше, чем ожидаемая прибыль Π_S^{wP} :

$$\Pi_S^{bb1} - \Pi_S^{wP} > 0. \quad (7)$$

Перепишем левую часть неравенства (7), предварительно подставив $\omega_1^*(b)$ в выражение (6) для Π_S^{wP} :

$$\begin{aligned} \Pi_S^{bb1} - \Pi_S^{wP} &= \beta b \frac{(p-c)^2}{2(p-v)^2} - \beta b \frac{(p-c)^2}{(p-v)^2} \left(1 - \frac{b}{p-v}\right) = \\ &= \beta b \frac{(p-c)^2}{(p-v)^2} \left(-\frac{1}{2} + \frac{b}{p-v}\right). \end{aligned}$$

Так как первый сомножитель $\beta b \frac{(p-c)^2}{(p-v)^2}$ положительный, то для того, чтобы неравенство (7) имело место, необходимо, чтобы второй сомножитель $(-\frac{1}{2} + \frac{b}{p-v})$ также был положительным. Значит, если цена обратного выкупа удовлетворяет неравенству:

$$b > \frac{p-v}{2}, \quad (8)$$

то неравенство (7) выполняется.

Следовательно, для всех параметров b , принадлежащих множеству $D_1^0(b)$, где

$$D_1^0(b) = \left\{ b \mid \frac{p-v}{2} < b < \omega^* \right\},$$

будет выполняться третье условие *определения 2* и любой контракт с обратным выкупом с параметрами $(b, \omega_1^*(b), q^*)$ будет условно координирующим.

С учетом (3) выражение для множества $D_1^0(b)$ будет иметь вид:

$$D_1^0(b) = \left\{ b \mid \frac{p-v}{2} < b < c_S \frac{p-v}{c-v} \right\},$$

причем v в этом случае должно удовлетворять неравенству: $c_R - c_S < v < c_S$.

Таким образом, предположив, что спрос на продукцию подчиняется равномерному закону распределения и выполняется условие $c_R - c_S < v$, показано, что контракт с обратным выкупом первого типа является условно координирующим.

Проведем анализ, за счет чего происходит увеличение ожидаемой прибыли поставщика в случае включения в контракт условия об обратном выкупе в сравнении с контрактом по оптовой цене. Для этого выпишем выражения для объемов заказа ритейлера, максимизирующих его ожидаемую прибыль для каждого контракта, при фиксированном значении ω_{fix} (табл. 2).

Таблица 2. Величина объема заказа, максимизирующая ожидаемую прибыль ритейлера

Оптовая цена	Контракт с обратным выкупом первого типа	Контракт по оптовой цене
$\omega_{fix} = \omega_1^*(b) = c_S + \frac{p-c}{p-v} b$	$q_R^{bb1^*} = \beta \frac{p - \omega_1^*(b) - c_R}{p - b - v}$	$q_{wp1}^* = \beta \frac{p - \omega_1^*(b) - c_R}{p - v}$

По предположению $b > v$, отсюда следуют неравенства: $p - b < p - v$ и $p - b - v < p - v$. В этом случае, сравнивая выражения для оптимальных объемов заказа ритейлера, можно заключить, что:

$$q_{w p 1}^* < q_R^{b b 1^*}.$$

Значит, при одинаковой оптовой цене ω_{fix} удовлетворяющей второму условию *определения 1*, объем заказа ритейлера, максимизирующий его ожидаемую прибыль, в случае использования контракта с обратным выкупом всегда будет больше, чем для контракта по оптовой цене. Таким образом, контракт с обратным выкупом «мотивирует» ритейлера делать заказ большего объема. При выполнении дополнительных ограничений на параметр b (неравенство (8)) ожидаемая прибыль поставщика в случае использования контракта с обратным выкупом будет больше, чем при использовании контракта по оптовой цене при той же величине оптовой цены ω_{fix} за счет того, что условие обратного выкупа мотивирует ритейлера делать больший объем заказа продукции.

Проиллюстрируем полученные результаты на следующих примерах, данные для которых взяты из статьи [Pasternack, 1985].

Пример 1. Для цепи из двух участников, поставщика и ритейлера, известна следующая информация: $p = 8$ долл., $v = 1$ долл., величины издержек поставщика и ритейлера: $c_S = 3$ долл., $c_R = 0,3$ долл., $c = 3,3$ долл. Согласно предположениям модели, для параметров контракта должны выполняться следующие условия: $0 < v < c_S < \omega < p$ и $v < b < \omega$. Значит, параметры должны удовлетворять таким ограничениям: $3 < \omega < 8$ и $1 < b < \omega$.

Предположим, что спрос на товар является случайной величиной ξ , равномерно распределенной на отрезке $[0; 200]$ (в [Pasternack, 1985] предполагалось нормальное распределение спроса), и найдем параметры условно координирующего контракта с обратным выкупом первого типа. Все результаты расчетов в примере округляются до целых. Сначала вычислим значение q^* :

$$q^* = q_R^* = q_{SC}^* = \beta \frac{p - c}{p - v} = 200 \frac{8 - 3,3}{8 - 1} = 134.$$

Полученное из второго условия *определения 2* выражение для оптовой цены за единицу продукции (как функции от цены выкупа b) для контракта с обратным выкупом нереализованной продукции первого типа приобретает вид:

$$\omega_1^*(b) = c_S + \frac{p - c}{p - v} b = 3 + 0,7b.$$

Множество $D_1^0(b)$ в этом примере будет таким:

$$D_1^0(b) = \{b \mid 3,5 < b < 9,1\}.$$

Если поставщик выберет цену обратного выкупа $b \in D_1^0(b)$ и оптовую цену, исходя из соотношения $\omega_1^*(b) = 3 + 0,7b$, то объем заказа, который максимизирует ожидаемую прибыль цепи, также составит 134 штуки. Величина ожидаемой прибыли в этом случае будет равна 316 долл.

На рисунке показано, какими будут ожидаемые прибыли поставщика и ритейлера при различных парах параметров $(b, \omega^*(b))$ в случае использования контракта с обратным выкупом, а также какой будет ожидаемая прибыль поставщика для соответствующего значения $\omega^*(b)$ при использовании контракта по оптовой цене.

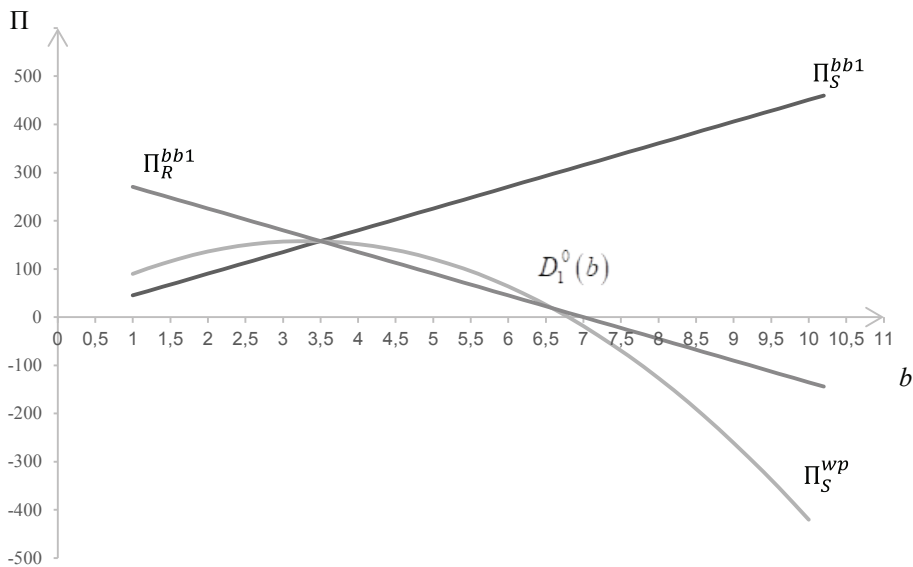


Рисунок. Графики функций ожидаемых прибылей поставщика и ритейлера

Отметим, что для всех значений параметра b из множеств $D_1^0(b)$ ожидаемая прибыль поставщика при использовании контракта с обратным выкупом будет больше, чем контракта по оптовой цене. Таким образом, будет обеспечиваться условная координация цепи, и у всех ее участников появится стимул придерживаться условий такого контракта. Как показано на рисунке, чем больше будет значение параметра b , тем большую часть прибыли цепи получит поставщик, и наоборот, чем меньше значение параметра b , тем большая часть прибыли цепи достанется ритейлеру. Следовательно, выбор значения параметра b влияет на перераспределение прибыли цепи между игроками, что на практике является результатом переговоров.

Поэтому решение указанной проблемы по нахождению условно координирующего контракта следует искать в классе кооперативно-конкурентных процедур принятия решений (cooperation procedure). На первом шаге участники кооперативно (совместно) выбирают значение параметра b , на втором — поставщик S устанавливает значение оптовой цены $\omega^*(b)$ и на третьем шаге ритейлер R выбирает объем поставки q^* .

Для децентрализованной цепи поставок из двух участников проблему кооперативного выбора параметра контракта b будем решать, используя асимметричное решение Нэша, которое зависит от параметра $\lambda \in (0,1)$, называемого «переговорной силой» поставщика. Известно, что при заданном λ асимметричное решение Нэша доставляет максимум взвешенной функции Нэша [Петросян, Зенкевич, Шевкопляс, 2016]. Впервые асимметричное решение Нэша для двух участников было введено аксиоматически в работе [Harsanyi, Selten, 1972] как обобщение знаменитого арбитражного решения Нэша [Nash, 1950; 1953] для случая асимметричных участников.

Рассмотрим задачу выбора параметра контракта b с использованием асимметричной схемы Нэша. Взвешенная функция Нэша с параметром $\lambda \in (0,1)$ для контракта с обратным выкупом первого типа будет иметь вид:

$$H_{bb1}^{\lambda}(b) = (\Pi_S^{bb1})^{\lambda} (\Pi_R^{bb1})^{(1-\lambda)}. \quad (9)$$

Запишем выражения для ожидаемых прибылей участников цепи, подставив в них найденные значения ω^* (выражение (3)):

$$\Pi_S^{bb1} = \frac{p-c}{p-v} b q^* - b \frac{q^{*2}}{2\beta} = b \frac{q^{*2}}{2\beta},$$

$$\Pi_R^{bb1} = (p-v-b) \left(\frac{p-c}{p-v} q^* - \frac{q^{*2}}{2\beta} \right) = (p-v-b) \frac{q^{*2}}{2\beta}.$$

Подставим их в выражение (9), оно примет вид:

$$H_{bb1}^{\lambda}(b) = (\Pi_S^{bb1})^{\lambda} (\Pi_R^{bb1})^{(1-\lambda)} = \left(b \frac{q^{*2}}{2\beta} \right)^{\lambda} \left((p-v-b) \frac{q^{*2}}{2\beta} \right)^{1-\lambda}.$$

Найдем максимум этой функции:

$$\max_b H_{bb1}^{\lambda}(b) = \max_b \left(b \frac{q^{*2}}{2\beta} \right)^{\lambda} \left((p-v-b) \frac{q^{*2}}{2\beta} \right)^{1-\lambda}$$

при следующих ограничениях

$$\Pi_S^{bb1} > 0,$$

$$\Pi_R^{bb1} > 0,$$

$$\frac{p-v}{2} < b < c_s \frac{p-v}{c-v}.$$

Первое ограничение выполняется всегда, а второе — при выполнении неравенства $p-v < b$, которое, как обсуждалось ранее, является логичным: розничная цена должна быть не меньше суммы цены обратного выкупа и ликвидационной стоимости, иначе у ритейлера не будет стимула продавать продукт по этой розничной цене.

Поскольку Π_S^{bb1} и Π_R^{bb1} положительны, то задача поиска максимума $H_{bb1}^\lambda(b)$ функции на заданном множестве будет эквивалентной задаче поиска максимума логарифма этой функции, т. е.:

$$\max_b \ln H_{bb1}^\lambda(b) = \max_b \left(\lambda \ln \left(b \frac{q^{*2}}{2\beta} \right) + (1-\lambda) \ln \left((p-v-b) \frac{q^{*2}}{2\beta} \right) \right).$$

Найдем первую производную функции $\ln H_{bb1}^\lambda(b)$ и приравняем ее к 0:

$$\frac{\partial(\ln H_{bb1}^\lambda(b))}{\partial b} = \frac{\lambda}{b} - \frac{(1-\lambda)}{p-v-b} = \frac{\lambda(p-v-b) - (1-\lambda)b}{b(p-v-b)} = 0.$$

Получим выражение для стационарной точки:

$$b = \lambda(p-v). \quad (10)$$

Рассмотрим вторую производную этой функции:

$$\frac{\partial^2(\ln H_{bb1}^\lambda(b))}{\partial^2 b} = -\frac{\lambda}{b^2} - \frac{(1-\lambda)}{(p-v-b)^2}.$$

Поскольку вторая производная функции всегда отрицательна, то найденная стационарная точка является максимумом рассматриваемой функции.

Значения функций выигрыша игроков на этом арбитражном решении будут такими:

$$\Pi_S^{bb1} = \lambda(p-v) \frac{q^{*2}}{2\beta},$$

$$\Pi_R^{bb1} = (p-v - \lambda(p-v)) \frac{q^{*2}}{2\beta} = (1-\lambda)(p-v) \frac{q^{*2}}{2\beta}.$$

Следовательно, ожидаемая прибыль цепи делится в этом случае между игроками в пропорции $\lambda : (1-\lambda)$. Значит, первый игрок, поставщик, имеющий переговорную силу λ , получит долю ожидаемой прибыли цепи, равную λ , соответственно, второй игрок, ритейлер, получит долю $1-\lambda$.

Проанализируем, при каких значениях параметра λ будет выполняться неравенство:

$$\frac{p-v}{2} < \lambda(p-v) < c_s \frac{p-v}{c-v}.$$

Получаем, что

$$\frac{1}{2} < \lambda < c_s \frac{1}{c-v}. \quad (11)$$

Поскольку переговорная сила игрока не может быть больше 1 (по условию ни один из участников цепи не может получить всю прибыль цепи), то из последнего неравенства следует, что:

$$0,5 < \lambda < \min \left\{ \frac{c_S}{c-v}, 1 \right\}. \quad (12)$$

Очевидно, что $\frac{c_S}{c-v}$ будет меньше 1 только в том случае, если $c_R - c_S < v < c_R$, и тогда будет иметь место (11). В том случае, когда выполняется следующее соотношение $c_R < v < c_S$, будет верно такое ограничение на λ :

$$0,5 < \lambda < 1. \quad (13)$$

Значит, условно координирующий контракт с обратным выкупом первого типа можно построить только тогда, когда переговорная сила поставщика больше, чем у ритейлера ($0,5 < \lambda < \min \left\{ \frac{c_S}{c-v}, 1 \right\}$), и в этом случае условная координация достигается за счет параметра $b^* = \lambda(p-v)$.

Любой контракт с обратным выкупом первого типа с параметрами $(\lambda(p-v), (c_s + \lambda(p-c)), \beta \frac{p-c}{p-v})$ будет условно координирующим, а максимальная ожидаемая прибыль цепи при этом будет делиться между игроками в отношении $\lambda: (1-\lambda)$.

В противном случае ($0 < \lambda < 0,5$) ожидаемая прибыль поставщика будет меньше, чем при использовании контракта по оптовой цене, и условно координирующего контракта с обратным выкупом первого типа не существует.

Пример 2. Используя результаты, полученные в примере 1 для контракта с обратным выкупом первого типа, найдем значение параметра b_1 из множества $D_1^0(b) = \{b \mid 3,5 < b < 9,1\}$.

Для этого на первом шаге установим ограничение на параметр λ , так как $c_R < v$, то имеет место неравенство (13). Исходя из этого, найдем такое значение параметра b_1 , при котором ожидаемая прибыль цепи будет делиться между игроками в отношении 4:1, т. е. $\lambda = 0,8$.

В этом случае $b_1 = 0,8(8-1) = 5,6$ (долл.). Полученное значение параметра b_1 принадлежит множеству $D_1^0(b)$, поэтому контракт будет являться условно координирующим. Найдем остальные параметры контракта:

$$\omega_1^*(b) = c_s + \frac{p-c}{p-v} b_1 = 6,9 \text{ (долл.)}, \quad q^* = 134.$$

Получаем, что контракт с обратным выкупом первого типа с параметрами (5,6; 6,9; 134) будет условно координирующим. Ожидаемые прибыли цепи и ее участников при таком контракте будут равны:

$$\Pi_S^{bb1} = b \frac{q^{*2}}{2\beta} = 5,6 \frac{134^2}{400} = 251 \text{ (долл.)};$$

$$\Pi_R^{bb1} = (p - v - b) \frac{q^{*2}}{2\beta} = (8 - 1 - 5,6) \frac{134^2}{400} = 63 \text{ (долл.)};$$

$$\Pi_{SC}^{bb1} = 314 \text{ (долл.)}.$$

Необходимо еще раз подчеркнуть, что построение условно координирующего контракта в рассматриваемом примере возможно только при таком значении параметра b , при котором поставщик получает бóльшую часть ожидаемой прибыли цепи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Координация цепи поставок — актуальное направление исследований в управлении цепями поставок. Одним из часто применяемых на практике механизмов координации цепи поставок являются координирующие контракты, изучению которых посвящены многочисленные публикации. Для ряда товаров (например, сезонных или скоропортящихся) традиционно используются контракты с обратным выкупом, когда в конце сезона поставщик выкупает у ритейлера нереализованный товар. Исследователи по-разному оценивают возможность такого контракта координировать цепь поставок. Это связано, в частности, с неоднозначностью подходов к определению координирующего контракта в научной литературе. В российской практике контракты с обратным выкупом на протяжении долгого времени являлись основным типом контрактов для скоропортящихся продуктов, но с 2019 г. их использование было запрещено на законодательном уровне. Участники рынка по-разному оценивают эффекты от данного запрета.

В статье постановка задачи построения координирующего контракта рассмотрена с точки зрения теоретико-игрового подхода, а процесс заключения контракта — как двухшаговая игра двух лиц: поставщика и ритейлера. В качестве функций выигрыша игроков выбраны функции ожидаемой прибыли, а в качестве стратегий — параметры контракта. Исходя из свойств практической реализуемости, индивидуальной и коллективной рациональности, направленных на максимизацию ожидаемых прибылей каждого участника и цепи в целом, в статье дано определение координирующего контракта, которое отражает идею о том, что при координации наибольший приоритет имеют собственные выгоды участников, но за счет согласованных действий улучшается не только их индивидуальная результативность, но и результативность всей цепи поставок.

На основе авторского определения разработана процедура нахождения оптимального контракта и показано, что контракт с обратным выкупом не координирует цепь. Несмотря на то что не удалось найти оптимальный набор параметров контракта с обратным выкупом, было построено непустое подмножество эффективных контрактов, удовлетворяющее условиям 1 и 2 из определения ко-

ординирующего контракта, зависящее от параметра b (цены обратного выкупа). Каждый контракт из этого множества обладает свойствами коллективной рациональности и индивидуальной рациональности ритейлера (игрок R). Требование индивидуальной рациональности для поставщика было смягчено, что нашло отражение в определении нового контракта, названного условно координирующим, в котором условия 1 и 2 остаются прежними, а условие 3 заменено на более слабое (частичная рациональность поставщика, игрок S).

Поиск условно координирующего контракта проведен в предположении, что спрос подчиняется равномерному закону распределения. Показано, что при выполнении определенных ограничений на параметры контракт с обратным выкупом выгоден для всех участников цепи. В частности, для поставщика контракт с обратным выкупом будет предпочтительней, чем контракт по оптовой цене, так как его условия будут стимулировать ритейлера закупать больший объем товара, чем контракт по оптовой цене, и за счет этого получать более высокую ожидаемую прибыль.

Представляется, что полный запрет на законодательном уровне на применение контрактов с обратным выкупом продовольственных товаров, который был введен в России в 2019 г., возможно, лишил рынок важного инструмента координации цепей поставок в категории скоропортящихся товаров.

В статье приведен пример построения условно координирующего контракта, который иллюстрирует, как за счет выбора параметров контракта ожидаемая прибыль цепи распределяется между игроками. Анализ кооперативного механизма выбора ритейлером и поставщиком конкретной пары параметров контракта $(b, \omega^*(b))$ из множества всех параметров, удовлетворяющих условиям условной координации, служит важной практической и теоретической задачей дальнейших исследований. В работе предложено решение этой задачи с использованием арбитражного решения Нэша: для условно координирующего контракта с обратным выкупом в предположении, что спрос подчиняется равномерному закону распределения, ожидаемая прибыль цепи будет распределяться между ее участниками в соответствии с их переговорной силой. Практическая реализация такого контракта возможна только в случае кооперативно-конкурентной процедуры принятия решения, когда сначала участники договариваются о значении величины обратного выкупа и тем самым о дележе прибыли цепи, при этом переговорная сила поставщика должна быть больше, чем у ритейлера. В противном случае для поставщика более выгодным является контракт по оптовой цене.

В качестве направлений дальнейших исследований можно рассмотреть задачу построения координирующего контракта в предположении, что закон распределения спроса на товар отличен от равномерного, или в предположении, что спрос на товар функционально связан с розничной ценой. Кроме того, актуально решение задачи построения координирующего контракта, когда поставщик/ритейлер склонен к риску или избегает его, а также в случае использования комбинированных контрактов, где помимо условия обратного выкупа прописаны другие, например получение бонуса за объем.

- Березинец И. В., Зенкевич Н. А., Никольченко Н. К., Ручьева А. С. 2019. Применение контракта с ретро-бонусом для координации цепи поставок. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент* **18** (3): 317–340.
- Зенкевич Н. А., Гладкова М. А. 2018. Координирующие долевыe контракты в цепочке создания ценности: на примере киноиндустрии США. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент* **17** (1): 26–45.
- Зенкевич Н. А., Зайцева Е. И., Гладкова М. А. 2016. Моделирование дележа дохода от кооперации в киноиндустрии: теоретико-игровой подход. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент* **15** (3): 3–29.
- Иванова В. Н., Тихонов Д. А., Таточенко А. Л. 2016. Об уточнении стоимостной оценки внутрeнней продовольственной помощи в московском регионе, или «продовольственная карта», цена вопроса. *Экономические науки* (138): 44–48.
- Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Шевкопляс Е. В. 2016. *Теория игр*. СПб.: БХВ–Петербург.

References in Latin Alphabet

- Alfalla-Luque R., Medina-Lopez C., Dey P. K. 2013. Supply chain integration framework using literature review. *Production Planning & Control* **24** (8–9): 800–817.
- Arshinder K., Kanda A., Deshmukh S. G. 2008. Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. *International Journal of Production Economics* **115** (2): 316–335.
- Becker-Peth M., Katok E., Thonemann U. W. 2013. Designing buyback contracts for irrational but predictable newsvendors. *Management Science* **59** (8): 1800–1816.
- Bernstein F., Federgruen A. 2005. Decentralized supply chains with competing retailers under demand uncertainty. *Management Science* **51** (1): 18–29.
- Boyaci T., Gallego G. 2002. Coordinating pricing and inventory replenishment policies for one wholesaler and one or more geographically dispersed retailers. *International Journal of Production Economics* **77** (2): 95–111.
- Cachon G. P. 2003. Supply chain coordination with contracts. In: A. G. de Kok, S. C. Graves (eds). *Handbooks in Operations Research and Management Science*. Vol. 11. Amsterdam: Elsevier; 227–339.
- Cachon G. P., Lariviere M. A. 2005. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations. *Management Science* **51** (1): 30–44.
- Cárdenas-Barrón L. E. 2007. Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain: A note. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* **43** (5): 647–654.
- Chen H., Chen J., Chen Y. F. 2006. A coordination mechanism for a supply chain with demand information updating. *International Journal of Production Economics* **103** (1): 347–361.
- Chen J., Zhang H., Sun Y. 2012. Implementing coordination contracts in a manufacturer Stackelberg dual-channel supply chain. *Omega* **40** (5): 571–583.
- Chen X., Shum S., Simchi-Levi D. 2014. Stable and coordinating contracts for a supply chain with multiple risk-averse suppliers. *Production and Operations Management* **23** (3): 379–392.
- Chiu C. H., Choi T. M., Tang C. S. 2011. Price, rebate, and returns supply contracts for coordinating supply chains with price-dependent demands. *Production and Operations Management* **20** (1): 81–91.
- Chiu C. H., Choi T. M., Yeung H. T., Zhao Y. 2012. Sales rebate contracts in fashion supply chains. *Mathematical Problems in Engineering* **2012**: 11–19.
- Croom S., Romano P., Giannakis M. 2000. Supply chain management: An analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing & Supply Management* **6** (1): 67–83.

- Dai T., Li Z., Sun D. 2012. Equity-based incentives and supply chain buy-back contracts. *Decision Sciences* **43** (4): 661–686.
- Donohue K. L. 2000. Efficient supply contracts for fashion goods with forecast updating and two production modes. *Management Science* **46** (11): 1397–1411.
- Fahimnia B., Sarkis J., Davarzani H. 2015. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics* **162**: 101–114.
- Gan X., Sethi S. P., Yan H. 2004. Coordination of supply chains with risk-averse agents. *Production and Operations Management* **13** (2): 135–149.
- Gan X., Sethi S. P., Yan H. 2005. Channel coordination with a risk-neutral supplier and a downside-risk-averse retailer. *Production and Operations Management* **14** (1): 80–89.
- Govindan K., Popiuc M. N. 2014. Reverse supply chain coordination by revenue sharing contract: A case for the personal computers industry. *European Journal of Operational Research* **233** (2): 326–336.
- Harsanyi J. C., Selten R. 1972. A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. *Management Science* **18** (5): 80–106.
- Heydari J., Choi T. M., Radkhah S. 2017. Pareto improving supply chain coordination under a money-back guarantee service program. *Service Science* **9** (2): 91–105.
- Hill C. A., Scudder G. D. 2002. The use of electronic data interchange for supply chain coordination in the food industry. *Journal of Operations Management* **20** (4): 375–387.
- Katok E., Wu D. Y. 2009. Contracting in supply chains: A laboratory investigation. *Management Science* **55** (12): 1953–1968.
- Kouvelis P., Zhao W. 2015. Supply chain contract design under financial constraints and bankruptcy costs. *Management Science* **62** (8): 2341–2357.
- Krishnan H., Kapuscinski R., Butz D. A. 2004. Coordinating contracts for decentralized supply chains with retailer promotional effort. *Management Science* **50** (1): 48–63.
- Krishnan H., Winter R.A. 2010. Inventory dynamics and supply chain coordination. *Management Science* **56** (1): 141–147.
- Kumar R., Singh K. R. 2017. Coordination and responsiveness issues in SME supply chains: A review. *Benchmarking: An International Journal* **24** (3): 635–650.
- Lariviere M. A. 1999. Supply chain contracting and coordination with stochastic demand. In: S. Tayur, R. Ganeshan, M. Magazine (eds). *Quantitative Models for Supply Chain Management*. Boston, MA: Springer; 233–268.
- Lau A. H. L., Lau H. S., Wang J. C. 2007. Some properties of buyback and other related schemes in a newsvendor-product supply chain with price-sensitive demand. *Journal of the Operational Research Society* **58** (4): 491–504.
- Lehoux N., D'Amours S., Langevin A. 2014. Inter-firm collaborations and supply chain coordination: Review of key elements and case study. *Production Planning & Control* **25** (10): 858–872.
- Li S., Zhu Z., Huang L. 2009. Supply chain coordination and decision making under consignment contract with revenue sharing. *International Journal of Production Economics* **120** (1): 88–99.
- Li X., Wang Q. 2007. Coordination mechanisms of supply chain systems. *European Journal of Operational Research* **179** (1): 1–16.
- Liu X., Xu Q., Xu L. X. 2015. A literature review on supply chain contracts selection and coordination under competing multi manufacturers. *International Journal of Business and Management* **10** (7): 196–207.
- Nash J. F. 1950. The bargaining problem. *Econometrica* **18** (2): 155–162.
- Nash J. F. 1953. Two-person cooperative games. *Econometrica* **21** (1): 128–140.
- Pasternack B. A. 1985. Optimal pricing and return policies for perishable commodities. *Marketing Science* **4** (2): 166–176.
- Patnayakuni R., Rai A., Seth N. 2006. Relational antecedents of information flow integration for supply chain coordination. *Journal of Management Information Systems* **23** (1): 13–49.

- Pyke D. F., Cohen M. A. 1993. Performance characteristics of stochastic integrated production-distribution systems. *European Journal of Operational Research* **68** (1): 23–48.
- Ramdas K., Spekman R. E. 2000. Chain or shackles: Understanding what drives supply-chain performance. *Interfaces* **30** (4): 3–21.
- Shen Y., Willems S. P. 2012. Coordinating a channel with asymmetric cost information and the manufacturer's optimality. *International Journal of Production Economics* **135** (1): 125–135.
- Snyder L., Shen Z. 2011. *Fundamentals of Supply Chain Theory*. New York: Wiley.
- Tatochenko I. M., Tatochenko A. L. 2017. The analysis of the peculiarities of economic activities for the largest Russian food retailer — PJSC “Magnit”. *Modern Science* **6** (1): 89–93.
- Taylor T. A. 2002. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects. *Management Science* **48** (8): 992–1007.
- Tsay A. A. 1999. The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives. *Management Science* **45** (10): 1339–1358.
- Wang C. X., Webster S. 2007. Channel coordination for a supply chain with a risk-neutral manufacturer and a loss-averse retailer. *Decision Sciences* **38** (3): 361–389.
- Wong W. K., Qi J., Leung S. Y. S. 2009. Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor-managed inventory. *International Journal of Production Economics* **120** (1): 151–161.
- Wu D. Y. 2013. The impact of repeated interactions on supply chain contracts: A laboratory study. *International Journal of Production Economics* **142** (1): 3–15.
- Xiao T., Shi K., Yang D. 2010. Coordination of a supply chain with consumer return under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics* **124** (1): 171–180.
- Yang P. C., Wee H. M. 2002. The economic lot size of the integrated vendor-buyer inventory system derived without derivatives. *Optimal Control Applications and Methods* **23** (3): 163–169.
- Zou X., Pokharel S., Piplani R. 2008. A two-period supply contract model for a decentralized assembly system. *European Journal of Operational Research* **187** (1): 257–274.

Russian Language References Translated into English

- Berezinets I. V., Zenkevich N. A., Nikol'chenko N. K., Ruch'eva A. S. 2019. Supply chain coordination with sales-rebate contract. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Menedzhment* **18** (3): 317–340. (In Russian)
- Zenkevich N. A., Gladkova M. A. 2018. Revenue sharing contracts for value chain coordination: The case of motion picture industry in the USA. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Menedzhment* **17** (1): 26–45. (In Russian)
- Zenkevich N. A., Zaitseva E. I., Gladkova M. A. 2016. Modeling of cooperative revenue imputation in film industry: A game-theoretical approach. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Menedzhment* **15** (3): 3–29. (In Russian)
- Ivanova V. N., Tikhonov D. A., Tatochenko A. L. 2016. About updating the cost estimation of domestic food help in the Moscow region, or “Food card” — the price of the issue. *Ekonomicheskie nauki* (138): 44–48. (In Russian)
- Petrosian L. A., Zenkevich N. A., Shevkoplias E. V. 2016. *Game Theory*. St. Petersburg: BXB–Peterburg publ. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 4 октября 2020 г.

Статья рекомендована в печать 5 ноября 2020 г.

Контактная информация

Березинец Ирина Владимировна — канд. физ.-мат. наук, доц.; berezinets@gsom.spbu.ru

Зенкевич Николай Анатольевич — канд. физ.-мат. наук, доц.; zenkevich@gsom.spbu.ru

Ручьева Алина Сергеевна — a.ruchyeva@gsom.spbu.ru

Никольченко Наталья Константиновна — nk.nikolchenko@mail.ru

DO THE BUYBACK CONTRACTS OF UNDISTRIBUTED STOCKS COORDINATE THE SUPPLY CHAIN?

I. V. Berezinets¹, N. A. Zenkevich¹, A. S. Rucheva¹, N. K. Nikolchenko²

¹ St. Petersburg State University,
7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² LLC “GSP-Komplektatsia”,
139/1, Moskovsky pr., St. Petersburg, 196105, Russian Federation

For citation: Berezinets I. V., Zenkevich N. A., Rucheva A. S., Nikolchenko N. K. 2020. Do the buyback contracts of undistributed stocks coordinate the supply chain? *Vestnik of Saint Petersburg University. Management* **19** (4): 461–492. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu08.2020.403> (In Russian)

The concept of supply chain coordination implies that it is possible to obtain an optimal result for both independent chain participants and supply chain due to participants' coordinated actions. This paper examines the question whether a buyback contract will be coordinating or not. The authors argue that a coordinating buyback contract should have the following substantive properties: practical feasibility, collective and individual rationality. The paper offers a mathematical definition of a coordinating buyback contract which highlights these properties. Entering into buyback contract process is considered as a two-step game of two players (a supplier and retailer) on the assumption that the players are risk neutral and make decisions with full information available, the market price is fixed, and the product demand is a random variable. The authors demonstrate that the buyback contract does not coordinate the chain, however, there has been obtained a non-empty set of effective contracts depending on the buyback price. For such contracts, the definition of “conditional coordination” is given to introduce the property of a supplier's partial rationality; its existence was proved. The findings reveal that the choice of buyback price affects the allocation of profits between chain participants so the decision on its choice must be cooperative. To substantiate the nature of cooperative choice of conditionally coordinating contracts, the asymmetric Nash solution is considered. All results were obtained both in general terms and under the assumption that the product demand has uniform distribution. For the latter case, the conditionally coordinating contract parameters were found and it was justified that the conclusion of such a contract is possible only when a supplier has greater bargain power than a retailer.

Keywords: supply chain management, supply chain coordination, coordinating contracts, conditionally coordinating buyback contracts.

Received: October 4, 2020

Accepted: November 5, 2020

Contact information

Irina V. Berezinets — PhD, Associate Professor; berezinets@gsom.spbu.ru

Nikolay A. Zenkevich — PhD, Associate Professor; zenkevich@gsom.spbu.ru

Alina S. Rucheva — a.rutchyeva@gsom.spbu.ru

Natalia K. Nikolchenko — nk.nikolchenko@mail.ru

The research has been conducted with financial support from St. Petersburg State University (project No. 48952577).