

УДК 658

DOI: 10.26456/2219-1453/2022.3.267–276

## «ЭФФЕКТ КНУТА» В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПОЧКОЙ ПОСТАВОК

Е.И. Козлова, В.Н. Абдулалим Ахмед

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»,  
г. Липецк

Выживание и развитие предприятий во многом зависит от бесперебойной работы цепочки поставок, в то время как эффект кнута, состоящий в возрастающей изменчивости спроса в цепочке поставок, наносит ей большой ущерб. Цель статьи состоит в систематизации причин возникновения эффекта кнута, выявлении тенденций и будущих возможностей для исследований в этой области. Научная новизна заключается в комплексном освещении предлагаемых в экономической литературе подходов к анализу эффекта кнута, систематизации факторов, обуславливающих искажение в процессе передачи информации в цепях поставок.

*Ключевые слова:* цепи поставок, колебания спроса, эффект кнута, пивная игра.

В процессе перемещения продукта или услуги физическим или виртуальным образом от поставщика к клиенту возникает цепочка поставок, логистическая сеть или сеть поставок, как скоординированная неким образом система организаций, людей, видов деятельности, информации и ресурсов. Цепочки поставок связывают производственно-сбытовые потоки. Различают три типа цепочек поставок:

- прямую цепь поставок, состоящую из фокусной компании, поставщика и потребителя;
- расширенную цепь поставок, дополнительно включающую поставщиков и потребителей второго уровня;
- максимальную цепь поставок, в которой объединены и фокусная компания, и все ее контрагенты [1].

Обычным явлением в цепочке поставок является возникновение искажений в процессе передачи информации от нисходящего потока, которые ведут к большим колебаниям количества заказов в восходящем направлении. Такое явление получило название эффекта кнута [3]. Математически, эффект кнута можно описать через соотношение дисперсий или коэффициентов вариации между этапами цепи поставок:

Наличие эффекта кнута мешает предприятиям улавливать потребности рынка, вызывая избыток запасов и снижая операционную эффективность всей цепочки поставок.

© Козлова Е.И.,  
Абдулалим Ахмед В.Н., 2022

$$\frac{VAR \text{ upstream (величина потерь вверх по течению)}}{VAR \text{ downstream (величина потерь вниз по течению)}} \quad (1)$$

или

$$\frac{CV \text{ upstream (конверсия продаж вверх по течению)}}{CV \text{ downstream (конверсия продаж вниз по течению)}} \quad (2)$$

Как отмечается в работе R.V. Chase, N.J. Aquilano, F.R. Jacobs, затраты на снижение влияния эффекта кнута для некоторых предприятий могут быть весьма существенными [3]. Эти затраты связаны с настройкой и отключением машин, простоями и сверхурочной нагрузкой, наймом и увольнением рабочей силы, чрезмерными запасами в восходящем направлении, трудностями в прогнозировании и составлении расписания, нервозностью системы и плохими отношениями с поставщиком / клиентом и т.д.

Настраивая свою цепочку поставок и управляя ею, компании могут достичь значительных конкурентных преимуществ. Целью управления цепочкой поставок является обеспечение высокоскоростного потока высококачественной и актуальной информации, которая позволит поставщикам обеспечивать непрерывный и точно рассчитанный по времени поток материалов для клиентов.

Проблема кнута изучается с 1950-х годов. У истоков описания проблемы кнута стоит Jay Forrester, первоначально рассмотревший её в промышленном контексте, как одну из классических проблем в управлении цепочками поставок, обычно называемую «усилением спроса» [6]. Работы Jay Forrester положили начало системной динамике, направленной на упорядочение описательной информации через сохранение богатства реальных процессов, использование накопленного опыта менеджеров, выявление динамических моделей поведения, вытекающих из различных вариантов политики компании [4].

Продолжающееся повышение технической сложности стандартных потребительских товаров, рост размеров и глубины глобального рынка, удлиняющих и усложняющих цепочки или сети обменов, обусловили данной теме в начале 1990-х годов новый импульс. основополагающей работой этого периода стала статья H. Lee, V. Padmanabhan, S. Whang «Искажение информации в цепочке поставок: эффект кнута» (1997), в которой авторы выделили четыре источника эффекта кнута: обработка сигналов спроса, игра с нормированием, пакетирование заказов и колебания цен [9].

Текущая пандемия COVID-19 проявилась в том числе серией дефицитов в мировой экономике, что привело к перебоям в поставках многочисленных групп товаров. Источником таких сбояв стали значительные изменения в потребительских расходах под влиянием массовых увольнений, государственных стимулирующих расходов, роста удаленной работы и других проявлений карантинных мер, а

механизмом развития – эффект кнута [13; 7; 10]. Таким образом, ситуация беспрецедентных колебаний спроса обуславливает необходимость продолжения изучения проблемы кнута.

Для достижения поставленной цели применялась следующая совокупность научных методов и приемов: индукция, дедукция, анализ, синтез, обобщение, структуризация.

“Эффект кнута” (или “эффект хлыста”) – это явление, которое наблюдается в каналах распределения, основанных на прогнозах. Эффект указывает на отсутствие синхронизации между участниками цепочки поставок. Даже незначительное изменение в потребности клиентов откатывается назад в виде усиленных колебаний вверх по потоку.

Из-за нестабильности потребительского спроса предприятиям, чтобы правильно позиционировать запасы и другие ресурсы, необходимо прогнозировать спрос. Но прогнозы, хотя и основаны на статистике, редко бывают совершенно точными. Компании часто создают так называемый «страховой запас». Кроме того, модели предложения не соответствуют моделям спроса, происходит накопление запасов на разных этапах. Вариабельность в сочетании с задержками в передаче информации по цепочке поставок и задержками в производстве и доставке товаров по цепочке поставок создают эффект кнута. Этот эффект становится значительным, когда затраты, связанные с колебаниями в производстве/заказе, перевешивают затраты на хранение запасов.

В обширном исследовании X. Wang, S.M. Disney показано, что эффект кнута обычно проявляется почти в каждой отрасли. Как эмпирическое доказательство, авторы используют выборочные временные ряды по четырем отраслям (производство персональных компьютеров, автомобильных компонентов, стиральных машин, свежего апельсинового сока), из которых отчетливо видно увеличение разницы между спросом и производственными заказами/поставками в реальных цепочках поставок в стандартных для этих отраслей периодах времени [14]. В приведенных эмпирических примерах (см. рис. 1) разрыв между спросом и производственными заказами/поставками составляет от 3,65 раза (производство стиральных машин для периода 51 неделя) до 30,4 раза (производство свежего апельсинового сока для периода 52 дня).

Эффект кнута можно предсказать в соответствии с такими параметрами, как время выполнения заказа и коэффициенты прогнозирования. Одним из классических стимуляторов для демонстрации цепочки поставок и управленческого поведения является разработанная в 1960-х гг. группой ученых из Массачусетского технологического института «Пивная игра», в которой используется простая 4-х этапная цепочка поставок: пивоваренный завод –

бутирование – оптовый поставщик – розничная торговля. Исследования показали, что даже в такой короткой цепочке поставок небольшие колебания первоначального спроса могли вызвать увеличение амплитуды заказов на 900 % [12].

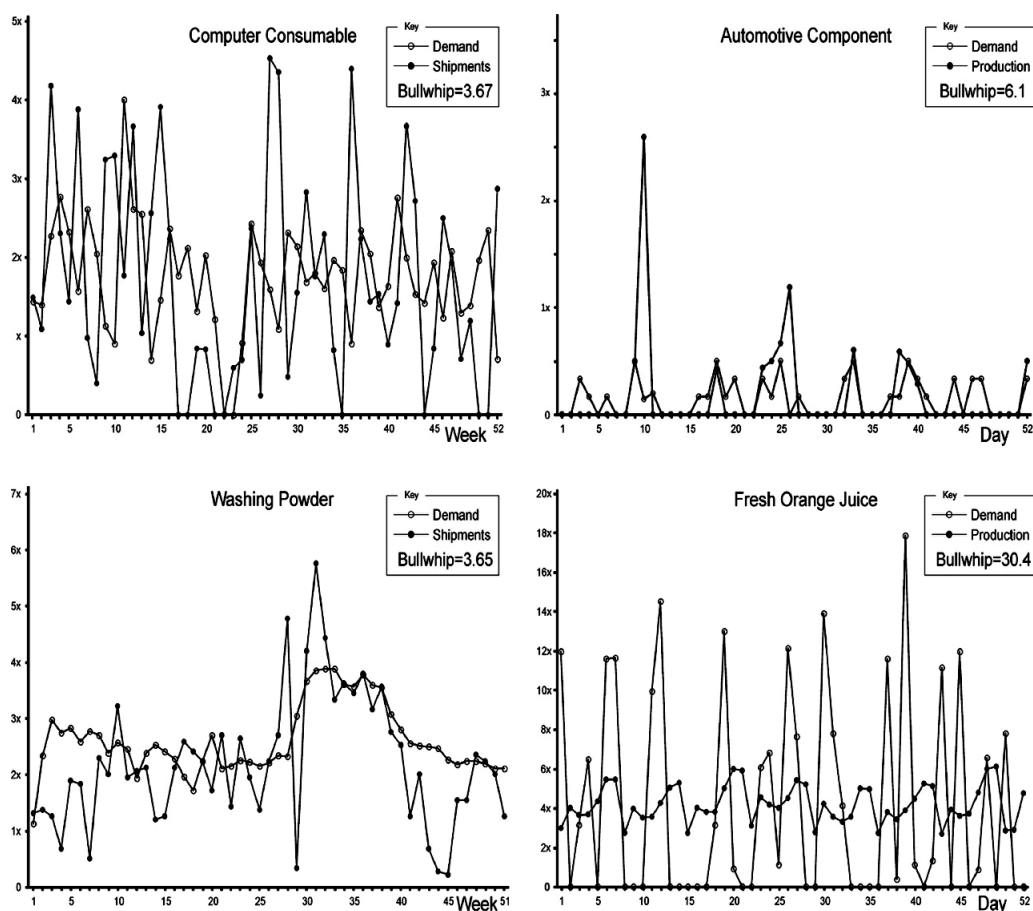


Рис. 1. Принципиальная схема эффекта кнута

Источник: составлено по: [10, с. 692]

Многочисленные симуляции на основе «Пивной игры» с дискретным временем, когда интервалы времени являются строго определенными (дискретными) промежутками времени (например, производственный план составляется в последний рабочий день недели и основан на всех заказах недели), осуществленные в 1990-х гг., показали, что люди действуют на основе эвристики привязки (эффекта якоря). В непрерывном режиме времени, предполагающем, что человек наблюдает за всеми состояниями системы непрерывно, и порядок задержки событий не является обязательным вводом в политику пополнения, эвристика привязки фактически представляет собой политику выхода с двумя независимыми пропорциональными контроллерами в инвентаре и обратной связью по незавершенному

производству (НЗП). При этом люди постоянно недооценивают эту информацию о НЗП, когда сами генерируют заказы на пополнение в игре с пивом [6].

Асимметричность информация каждого узла цепочки поставок и максимизация его собственных интересов искажают информацию о спросе в цепочке поставок и является эффектом кнута. В исследованиях компании “Kearney”, основанной в 1926 г. как “фирма «бухгалтеров и инженеров по менеджменту”, выделено 4 фактора, влияющих на амплитуду цепочки поставок. Среди этих факторов названы: 1) длина или количество этапов в цепочке поставок; 2) скорость или время между заказом и выполнением заказа; 3) стимулы, которые приводят к чрезмерной реакции и паническим заказам по мере снижения уровня запасов; 4) доступная информация о состоянии цепочки поставок. В качестве средств защиты от неустойчивых колебаний размеров заказов и уровней запасов аналитики компании “Kearney” предлагают ряд мер. Эти меры предполагают: сокращение цепочки поставок за счет устранения посредников; ускорение поставок и сокращение времени пополнения запасов, ограничение размеров заказов и избежание неправильных стимулов; обеспечение прозрачности заказов и состояния запасов на каждом этапе цепочки поставок для каждого участника [12].

Схожие выводы делают S.Li и S.Peng на основе изучения литературных источников об экспериментах с пивной игрой и консультаций по управлению логистикой Wal-Mart. Они выделяют 6 причин, ведущих к искажению информации о спросе в цепочке поставок:

– *единичность информации о прогнозе спроса и искажение информации о спросе.* Каждый узел всегда основывается на своей прямой информации о спросе “ниже по потоку” в качестве основы для своего прогноза спроса, что приводит к неточности прогноза будущего спроса. Чтобы избежать риска отсутствия запасов, компании всегда будут увеличивать часть запасов, что приводит к завышению спроса.

– *колебания цен в цепочке поставок каждого узла предприятия.* Например, розничные торговцы и дистрибьюторы перед лицом нестабильности цен, скидок или рекламных акций и т.д., как правило, прибегают к практике увеличения запасов, вследствие чего заказы намного превышают реальный спрос. Аналогичный характер реагирования присущ и потребителям в периоды нестабильности цен. Это не отражает долгосрочные реальные потребности потребителей, поскольку в течение этого периода они откладывают или продвигают некоторые из своих потребностей.

– *размер оптового заказа и время выполнения заказа.* Продавцы, получая единичные заказы, суммируют их до определенного количества повторных заказов, чтобы снизить стоимость заказа за счет складских и транспортных расходов в одном цикле. Стремление продавцов к

размещению увеличенного количества заказов на стороне поставщиков, как правило, ведет к увеличению страхового запаса (запаса безопасности). Таким образом, чем дольше по времени задержка спроса, тем больше изменения в запасах ожидания);

– *многоуровневость самой цепочки поставок*. Информация о спросе, передаваемая от одного конца сетевой цепочки до другого, испытывает двойное воздействие — внешней рыночной среды и конфликта целей между внутренними заинтересованными сторонами. Чем сложнее цепочка поставок, тем сложнее становятся пространственно-временные характеристики информации — неопределенность, задержка, нелинейность, динамичность, чередование времени, структура передачи и др., что обуславливает многоуровневое накопление количества товарно-материальных запасов в цепочке поставок. Происходит замедление реакции на волатильность рынка и ведет к “эффекту хлыста”.

– *низкий уровень обмена информацией и информационная игра*. Хотя предприятия в цепочке поставок имеют взаимозависимые партнерские отношения, в условиях неполной информации, стремясь максимизировать свои собственные интересы, каждое узловое предприятие будет конкурировать со спросом, ценой, запасами, разработкой продукта и другой информацией. Не имея доступного фондового объема товаров для продажи, предприятия создают собственные высокие запасы.

– *дефицитность товаров*. В ситуации вывода на рынок новых продуктов, пользующихся наибольшим спросом, введение производителем системы квот на продажи, побуждает розничных продавцов расширять заказы, которые являются, по сути, ложными заказами, что ведет к превышению предложения над реальным спросом [11].

Как отмечают S. Li и S. Peng, на ослабление “эффекта кнута” в части избежания прогнозирования множественного спроса, положительное влияние будет оказывать обеспечение обмена информацией, а в части сокращения времени выполнения заказа — внедрение аутсорсинга. Необходимо также стремиться к сокращению оптовых заказов, снижению ценовых акций, обходу коротких игровых ситуаций; правильному контролю запасов или сокращению складирования товаров на различных уровнях цепочки поставок и др.

S. Li и S. Peng предлагают для уменьшения влияния эффекта кнута создать модель эффективности цепочки поставок и приводить на ее основании корректировку показателей для максимизации эффективности цепочки поставок. Не подвергая сомнению результативность такого моделирования для частного случая, для длительно функционирующей торговой сети с устоявшимися связями следует отметить его ограниченность, обусловленную дискретным

значением основных узлов (поставщиков сырья, производителей, дистрибьюторов розничных продавцов и т.п.) и неопределенностью при их изменении. Так, M. Holweg и S.M. Disney указывают: «существуют некоторые специфические ограничения для методов преобразования, поскольку в общем случае невозможно инвертировать передаточные функции более пятого порядка. В моделях цепочки поставок со значительным числом переменных, таких как прогнозируемая константа, время выполнения заказа, методы корректировки на ошибки в запасах и уровни НЗП, легко создавать модели с порядком большим, чем пять, если всем этим переменным разрешено быть независимыми друг от друга. Порядок системы будет (обычно) увеличиваться с каждой новой независимой переменной, поэтому в двухуровневой модели обычно уже приходится делать упрощающие предположения. В результате трудно смоделировать достаточно реалистичные цепочки поставок с более чем двумя уровнями» [6].

Сложности моделирования эффекта кнута, постоянное движение его «границ» не позволяют говорить о возможности решения проблемы кнута в общем случае. В то же время сегодня уже сформирована зона этого явления, в отношении элементов которой большинство исследователей придерживаются общих подходов. По мнению X. Wang и S.M. Disney, консенсусными положениями являются:

- эффект кнута может возникать на разных уровнях (отрасли, фирмы, продукта) и в различных типах цепочек поставок;
- источником эффект кнута может стать как рациональное, так и иррациональное поведение при принятии решений;
- существует возможность при определенных обстоятельствах уменьшить или устранить эффект кнута;
- меньшие размеры партий, более короткое время выполнения заказа, более точные прогнозы и т.п. сокращают ошибки в цепочке поставок;
- снижению проблемы кнута может способствовать интеграция цепочки поставок, сотрудничество, информационная прозрачность и централизованные решения [9].

В современных практических работах исследователи, стремясь сохранить богатство реальных процессов, упорядочивают описательную информацию для выявления динамических моделей поведения. Например, в статье W. Herlyn приводится подробное изложение метода расчета потребности в зависимом спросе (CQ) в расширенной цепочке поставок для производителей оригинального оборудования (ОЕМ-производителей). Такая концепция, по мнению автора, объединяет принцип контура управления, который позволяет избежать эффекта кнута. Предлагаемый алгоритм расчета схематично включает: 1) расчет кумулятивной целевой кривой для конечных продуктов из Master Planning Scheduling (MPS); 2) расчет зависимой потребности в

компонентах в обратном направлении по общей Product-market fit (PMF) структуре; 3) построение кумулятивных кривых для всех соответствующих точек подсчета в цепочке поставок [5]. Еще одно активно разрабатываемое прикладное направление анализа – использование метода скользящего среднего для прогнозирования спроса в n-этапной цепочке поставок. Так, используя указанный метод, Н. Khosroshahi, S.M. Husseini, M.R. Marjanic в своем исследовании предлагают новое соотношение для количественной оценки влияния кнута на коэффициент дисперсии скорости заказов (OVR) и коэффициент дисперсии запасов (IV) в конвейерной 3-этапной цепочке поставок – с учетом влияния уровня обслуживания. Поскольку в проведенном ими исследовании рассматривается только один товар в цепочке поставок, сохраняются широкие возможности для новых аспектов моделирования связи эффекта кнута с параметрами метода скользящей средней, а также со временем выполнения [8].

Сотрудничество компаний и интерфейсов материальных потоков в условиях глобализирующегося мира неуклонно растет. Для систем производства, включенных в различные цепочки поставок, производственные планы и действия основаны на прогнозировании спроса. Клиенты ожидают, что задержки с выполнением заказа недопустимы, поэтому поставщик должен поддерживать достаточный запас. Отсутствие координации, искажение информации, задержка в передаче информации от розничной торговли к производству приводит к эффекту кнута и наносит большой ущерб цепочке поставок в форме создания чрезмерного уровня запасов, дорогостоящих колебаний производственных мощностей, неэффективной транспортировке, искаженному прогнозированию спроса, перебоев в поставках и т.п.

Хотя концептуально решение проблемы кнута пока не найдено, было признано, что нахождение оптимальной политики заказа ведет к снижению эффекта кнута. Интеграция цепочек поставок, сотрудничество, информационная прозрачность, более точные прогнозы, меньшие размеры партий способствуют снижению проблемы кнута.

В России, как отмечает С.В. Питеркин, для многих промышленных предприятий все еще типичной практикой является работа над повышением эффективности деятельности за счет внутренней эффективности, без глубокого анализа работы всей цепочки поставок [2]. Вызовом времени является синхронизация всех узлов цепочки поставки в уже существующих производственных планах.

### **Список литературы**

1. Ковалева Н.А. Основы логистики и управление цепями поставок: учеб. пособие / Н.А. Ковалева, А.В. Гузенко. ФГБОУ ВО «РГУПС». Ростов н/Д, 2016. 127 с.



2. Питеркин С.В. Скорость реакции промышленных предприятий. – URL: <http://www.rightstep.ru/media/pdf/knowledge-methodology/skorostreakciipredpr.pdf>. (дата обращения: 24.05.2022).
3. Chase R.B.; Aquilano N.J.; Jacobs F.R. Operations management for competitive advantage / by Richard B. Chase. McGraw-Hill/Irwin, Boston, 2021. 763 p.
4. Ganapathy V. Jay Forrester, discoverer of the Bullwhip Effect // Bookboon, 2015. March 9. — URL: <https://bookboon.com/blog/2015/03/jay-forrester-discoverer-bullwhip-effect> (дата обращения: 24.05.2022).
5. Herlyn Wilmjakob. The Bullwhip Effect in Expanded Supply Chains and the Concept of Cumulative Quantities // Conference: 9.th Hamburg International Conference of Logistic (HILC)At: Hamburg Volume: Proceeding book: “Innovative Methods in Logistics and Supply Chain Management”, Blecker Th. et al. (Ed.), epubli GmbH, September 2014. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/313239968> (дата обращения: 24.05.2022).
6. Holweg Matthias, Disney Stephen M. The evolving frontiers of the bullwhip effect // EUROMA Annual Conference: Budapest, Hungary. June 2005. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/262142901\\_The\\_evolution\\_of\\_the\\_bullwhip\\_effect/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/262142901_The_evolution_of_the_bullwhip_effect/citation/download) (дата обращения: 24.05.2022).
7. Kaizhong Zhang. Demand Shock along the Supply Chain: The Bullwhip Effect of Covid-19 in Chinese Exports. Economics Honors Projects. 2021. 108 p. – URL: [https://digitalcommons.macalester.edu/economics\\_honors\\_projects/108](https://digitalcommons.macalester.edu/economics_honors_projects/108) (дата обращения: 24.05.2022).
8. Khosroshahi Hossein, Husseini S.M. Moattar, Marjanic M.R. The bullwhip effect in a 3-stage supply chain considering multiple retailers using a moving average method for demand forecasting/ / Applied Mathematical Modelling. Volume 40, Issues 21–22, November 2016, Pages 8934-8951. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X1630292X> (дата обращения: 24.05.2022).
9. Lee Hau L., Padmanabhan V., Seungjin Whang // Home Management Science, 1997. Vol. 43, No. 4. – URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.4.546>.
10. Sheffi Yossi. Prepare for the Bullwhip’s Sting. Rising inflation and global supply chain problems raise concerns that a recession is looming // MitSloan Management Review, 2022, January 13. – URL: <https://sloanreview.mit.edu/article/prepare-for-the-bullwhips-sting/>(дата обращения: 24.05.2022).
11. Shibiao Li, Shengbo Peng. Analysis on Causes and Countermeasures of Bullwhip Effect // MATEC Web of Conferences 100:05018, January 2017. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/314781296> (дата обращения: 24.05.2022).
12. The bullwhip effect [https // Kearney.](https://www.kearney.com/web/beer-distribution-game/the-bullwhip-effect) – URL: <https://www.kearney.com/web/beer-distribution-game/the-bullwhip-effect> (дата обращения: 10.04.2022).
13. The bullwhip effect: A beginner’s guide // Quartz weekly obsession, September 29, 2021. – URL: <https://qz.com/emails/quartz-obsession/2064752/the-bullwhip-effect> (дата обращения: 24.05.2022).

14. Wang Xun, Disney Stephen M.. The bullwhip effect: Progress, trends and directions // European Journal of Operational Research, 2016. Volume 250, Issue 3, 1 May. Pages 691-701. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715006554> (дата обращения: 24.05.2022).

*Об авторах:*

КОЗЛОВА Елена Ивановна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, 398600, Липецкая область, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, e-mail: kozlova.e.i@kzlv.com, ORCID: 0000-0001-5116-6543, SpIn-код: 4588-6111.

АБДУЛАЛИМ Ахмед Вахи Набилъ – магистрант кафедры экономики, ФГБОУ ВО «Липецкий технический университет», г. Липецк, 398600, Липецкая область, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, e-mail: [wahi2011@live.com](mailto:wahi2011@live.com), ORCID: 0000-0001-9076-743X.

## THE “WHIP EFFECT” IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

**E.I. Kozlova, V.N. Abdulalim Akhmed**

FGBOU VO «Lipetsk State Technical University», Lipetsk

Economic information and globalization have led to competition between supply chains in the commercial competition of enterprises. The survival and development of enterprises largely depends on the smooth operation of the supply chain, while the whip effect causes great damage to the supply chain. The knuth effect describes the increasing variability of demand in the supply chain and is a recurring problem in extended supply chains. The purpose of the article is to systematize the causes of the whip effect, trends and future opportunities for research in the field of the whip. The scientific novelty lies in the comprehensive coverage of approaches to the analysis of the whip effect, the systematization of factors that cause distortion in the process of information transmission in supply chains.

**Keywords:** *supply chains, demand fluctuations, whip effect, beer game*

*About the authors:*

KOZLOVA Elena Ivanovna – PhD in Economics, Associate Professor, FGBOU VO “Lipetsk State Technical University”, Lipetsk, 398600, Lipetsk region, Lipetsk, st. Moscow, 30, e-mail: kozlova.e.i@kzlv.com

ABDULALIM Ahmed Vahi Nabil' – Master of the Department of Economics, FGBOU VO “Lipetsk State Technical University”, Lipetsk, 398600, Lipetsk region, Lipetsk, st. Moscow, 30, e-mail: [wahi2011@live.com](mailto:wahi2011@live.com).