

ОБЗОРЫ

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ И РИСКИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК: КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ И НАПРАВЛЕНИЯ БУДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д. А. ИВАНОВ

Берлинская высшая школа экономики и права, Германия

М. А. ИВАНОВА

Технический университет Хемниц, Германия

В работе на основе анализа статей в международных журналах за 2000–2014 гг. рассматривается проблематика неопределенности и рисков в решениях о структурно-функциональном синтезе цепей поставок. В работе структурированы основные классы рассматриваемых задач, классифицированы основные виды неопределенности и рисков и меры по их снижению. Приведены практические примеры управления операционными рисками и рисками катастроф. Сформулированы перспективные направления будущих исследований.

Ключевые слова: неопределенность, риск, цепи поставок, исследования по SCM, экономико-математические методы.

Функционирование цепей поставок (ЦП) связано со значительной неопределенностью и риском. Данные современных исследований свидетельствуют о том, что от 40 до 60% рабочего времени менеджеры цепей поставок тратят на устранение возникающих в них нарушений [Mulani, Lee, 2002]. Сообщение о нарушении в ЦП может вызвать падение курса акций компании до 40% [Hendricks, Singhal, Zhang, 2009].

Факторы неопределенности и рисков необходимо учитывать на этапе как структурно-функционального синтеза ЦП, так

и реализации планов [Ritchie, Brindley, 2007; Klibi, Martel, Guitouni, 2010; Blackhurst, Dunn, Craighead, 2011; Christopher et al., 2011; Li, Zeng, Savachkin, 2013]. Это существенно усложняет процессы структурного формирования и планирования и повышает требования к гибкости, робастности и устойчивости цепей поставок и разработке механизмов согласованных действий компаний и в штатных, и в нештатных ситуациях [Graves, Tomlin, 2003; Hendricks, Singhal, 2005; Coronado, Lyons, 2007; Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Li et al., 2010; Bode et al., 2011; Li, Zeng,

Savachkin, 2013; Sodhi, Son, Tang, 2012; Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a].

В данной работе неопределенность и риск понимаются следующим образом. *Неопределенность* — это общесистемное свойство, связанное с ограниченностью знаний о состоянии внешней среды системы (цепи поставок). *Риск* возникает из-за неопределенности и понимается как вероятность или возможность негативного исхода события, приводящего к убыткам/потерям в цепи поставок (в российских источниках см., напр.: [Соколов, Юсупов, 2006; Качалов, 2012]).

В современной научной литературе принято различать понятия *операционных рисков* (operational risks) и *рисков катастроф* (disruptive risks) [Chopra, Reinhardt, Mohan, 2007; Pettit, Fiksel, Croxton, 2013; Chopra, Sodhi, 2014; Simchi-Levi, Schmidt, Wie, 2014]. К операционным рискам относятся колебания объема и сроков поставок, вызванные неопределенностью спроса и длительности цикла поставки [Villegas, Smith, 2006; Hsu, Li, 2011; Kouvelis, Li, 2012; Paul, Sarker, Essam, 2014]. В контексте операционных рисков принято рассматривать, в частности, «эффект хлыста» (bull-whip effect) [Lee, Padmanabhan, Whang, 1997; Chen et al., 2000; Ouyang, Li, 2010]. К настоящему времени данная группа рисков достаточно хорошо изучена и менеджеры цепей поставок располагают действенными методами и программным обеспечением для предотвращения подобных колебаний и быстрого восстановления баланса поставок в случае их возникновения.

Риски катастроф (в частности, риски возникновения аварий или риск разрушения основного оборудования, зданий и сооружений) являются достаточно новой темой исследований цепей поставок, получающей все большее распространение как на практике, так и в научной литературе [Snyder, Daskin, 2005; Ivanov, Sokolov, Kaeschel, 2010; Qi, Shen, Snyder, 2010; Cui, Ouyang, Shen, 2010; Peng et al., 2011; Vahdani, Zandieh, Roshanaei, 2011; Simangunsong, Hendry, Stevenson, 2012; Li, Zeng, Savachkin,

2013; Lim et al., 2013; Rafiei, Mohammadi, Torabi, 2013; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b; Simchi-Levi, Schmidt, Wei, 2014; Chopra, Sodhi, 2014]. В данной предметной области рассматриваются риски, вызванные природными и антропогенными катастрофами. Если в сфере операционных рисков рассматриваются отклонения на *параметрическом* уровне, то в сфере рисков катастроф речь уже идет о *структурном* уровне, когда отдельные фабрики или транспортные связи в цепи поставок могут быть разрушены и недоступны в течение длительного периода времени и их восстановление связано со значительными финансовыми и временными затратами [Sheffi, Rice, 2005; Lim et al., 2013; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013].

Некоторые примеры операционных рисков и рисков катастроф представлены в табл. 1 (подробнее см. в [Иванов, 2010]).

В качестве примера отметим, что согласно исследованию [Business Continuity Institute, 2011] 85% компаний в глобальных цепях поставок испытало хотя бы одно серьезное нарушение в течение календарного года.

Несмотря на то что за последние 30 лет были разработаны различные концепции, модели и информационные системы для снижения неопределенности и риска в цепях поставок, на практике и в теории эта тема приобретает все большую популярность.

В данной статье представлен авторский взгляд на проблематику неопределенности и рисков в цепях поставок; отражен широкий спектр международных публикаций по рассматриваемому вопросу, прежде всего журнальных. Раздел 1 содержит анализ и систематизацию причин и методов снижения неопределенности и рисков в ЦП, раздел 2 — анализ литературы по использованию экономико-математических моделей исследования неопределенности и рисков в ЦП. Разделы 3 и 4 посвящены, соответственно, общему анализу операционных рисков и анализу примеров из практики. В разделе 5 рассматривается про-

Таблица 1

Примеры влияния неопределенности на цепи поставок

Риски	Пример	Последствия
Хищения и повреждения грузов	Розничная торговля (в целом по отрасли).	Ущерб в Европе 13,4 млрд евро/год.
	Производство (в целом по отрасли)	Ущерб в Европе 4,6 млрд евро/год. Ущерб до 15% годового оборота
Терроризм. Пиратство	Террористические акты 11 сентября 2001 г.	Остановка 5 заводов Ford.
	Пиратские атаки в Сомали, 2008 г.	Сбой в поставках многих ЦП
Природные катаклизмы	Землетрясение в Таиланде, 1999 г.	Паралич производства компьютеров в компании Apple.
	Наводнение в Саксонии, 2002 г.	Значительное сокращение производства в мировой автомобильной промышленности.
	Землетрясение в Японии, лето 2007 г.	В цепях поставок Toyota сбой в производстве 50 тыс. автомобилей.
	Землетрясение и цунами в Японии, 2011 г.	Intel теряет 1 млрд долл. в продажах
Наводнение в Таиланде, 2011 г.		
Антропогенные катастрофы	Пожар на складе английского ритейлера ASOS, 2005 г.	Прекращение поставок на 30 дней
Политические и финансовые кризисы	«Газовый кризис», 2009 г.	Остановка поставок газа в Восточную Европу, миллиардные финансовые потери «Газпрома» и потребителей.
	Мировой финансовый кризис, 2008–2011 гг.	Заккрытие или сокращение производств, угрожающие нарушения ЦП
Проблемы координации	Колебания спроса.	Потери из-за недополученных заказов, штрафы и неустойки до 15% годового оборота.
	Ошибки в координации.	Отзыв из торговли более 1,3 млн автомобилей Daimler Chrysler в 2006 г. (в реальности проблемы были лишь у 20 тыс. автомобилей).
	Отсутствие поставок	Невыполненный объем заказов в Apple на 1 млрд долл. в 1996 г. — падение акций на 50%. Остановка производства Toyota на 6 недель из-за пожара у ключевого поставщика

блематика снижения рисков разрушений и катастроф. Тенденции и перспективные направления будущих исследований представлены в разделе 6. В заключении даются выводы.

1. Систематизация причин и мер снижения неопределенности и рисков в ЦП

1.1. Причины неопределенности и риска в цепях поставок

Отправными точками в исследованиях по проблеме неопределенности и рисков в ЦП в современной литературе принято считать

работы [Lee, Padmanabhan, Whang, 1997; Chen et al., 2000; van Hoek, 2001; Olhager, 2003; Graves, Tomlin, 2003; Chopra, Sodhi, 2004; Hendricks, Singhal, 2005; Sheffi, Rice, 2005; Kleindorfer, Saad, 2005; Hendricks, Singhal, Zhang, 2009; Bode et al., 2011], которые, с одной стороны, сформировали концептуальные основы и классифицировали различные риски в цепях поставок, а с другой — разработали основы инструментария для эмпирического и количественного анализа рисков и неопределенности в ЦП.

К настоящему времени в литературе сформировалась классификация [Klibi, Martel, Guitouni, 2010; Ivanov, Sokolov, Kaeschel,

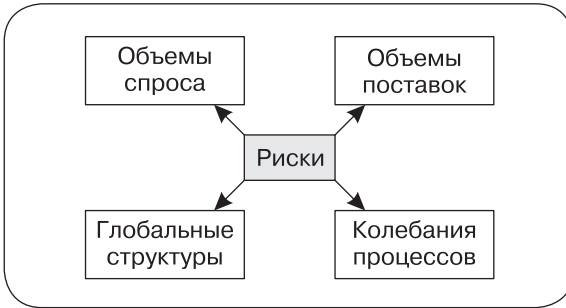


Рис. 1. Причины неопределенности и риска в цепях поставок

2010; Blackhurst, Dunn, Craighead, 2011; Pettit, Fiksel, Croxton, 2010; Pettit, Croxton, Fiksel, 2013; Sodhi, Son, Tang, 2012; Tang, Gurnani, Gupta, 2014], согласно которой причинами неопределенности и рисков в цепях поставок могут служить:

- колебания спроса;

- ошибки прогнозов;
- выход из строя ресурсов (например, поломка технологического оборудования);
- неточность используемых данных;
- ошибочные решения менеджеров;
- неточная передача информации и интерпретация тех или иных событий;
- целенаправленные действия по разрушению цепи поставок (терроризм, хищения грузов);
- природные и антропогенные катастрофы;
- изменения политических или природных условий (рис. 1).

В табл. 2 представлены различные причины неопределенности и рисков в ЦП, а также примеры работ по различным видам неопределенности и рисков.

Применительно к операционным рискам в работе [Lee, Padmanabhan, Whang, 1997] впервые показана проблематика «эффекта

Таблица 2

Причины неопределенности и рисков в цепях поставок

Операционные риски и неопределенность				Неопределенность и риски катастроф	
1	2	3	4	5	6
<i>Неопределенность</i>					
Спрос	Поставки	Продукт	Регламенты*	Спрос	Структура цепи поставок
Неопределенность спроса	Неопределенность длительности цикла поставок	Неопределенность качества и ассортимента продукции	Неопределенность регламентов	Возникновение финансовых и политических кризисов	Возникновение природных и антропогенных катастроф; забастовок; пиратства и терроризма
<i>Риски</i>					
Спрос	Поставки	Продукт	Регламенты	Спрос	Структура цепи поставок
Колебания спроса [Lee, Padmanabhan, Whang, 1997; Chen et al., 2000; Perea et al., 2000; Daganzo, 2004; Villegas, Smith, 2006; Acar, Kadipasaoglu, Schipperijn, 2010; Hsu, Li, 2011; Kouvelis, Li, 2012; Paul, Sarker, Essam, 2014]	Колебания сроков поставок [Acar, Kadipasaoglu, Schipperijn, 2010; Hsu, Li, 2011; Kouvelis, Li, 2012; Paul, Sarker, Essam, 2014]	Брак готовой продукцией, отзыв продукции [Pyke, Tang, 2010; Steven, Dong, Corsi, 2014; Dai, Tseng, Zipkin, 2015]	Необходимость соблюдения норм охраны окружающей среды [Kleindorfer, Saad, 2005; Sodhi, Son, Tang, 2012]	Разрушение спроса** [Goh, Lim, Meng, 2007; Azaron et al., 2008; Baghalian, Rezapour, Farahani, 2013]	Разрушение производственных мощностей [Snyder, Daskin, 2005; Azaron et al., 2008; Cui, Ouyang, Shen, 2010; Qi, Shen, Snyder, 2010; Klibi, Martel, Guitouni, 2010; Baron, Milner, Naseraldin, 2011; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Lim et al., 2013; Li, Zeng, Savachkin, 2013; Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b]

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
Многообразие ассортимента [van Hoek, 2001; Olhager, 2003; Ozbayrak, Papadopoulou, Samaras, 2006; Forza, Salvador, Trentin, 2008; Meisel, Bierwirth, 2014]	Задержка вывода новых продуктов на рынок [Zhou, Zhang, Zhou, 2013; Teimoury, Fathi, 2013; Chaudhuri, Mohanty, Singh, 2013; Meisel, Bierwirth, 2014]	Брак исходных материалов [Chopra, Sodhi, 2004; Schoenherr, Rao Tummala, Harrison, 2008]	Необходимость соблюдения таможенных и торговых норм [Chopra, Sodhi, 2004; Craighead et al., 2007; Stecke, Kumar, 2009]	Банкротство поставщиков и логистических провайдеров [Sodhi, Lee, 2007; Hendricks, Singhal, Zhang, 2009; Stecke, Kumar, 2009]	Разрушение транспортных связей [Wilson, 2007; Klibi, Martel, Guitouni, 2010; Peng et al., 2011; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Lewis et al., 2013]
Неточность информации [Lee, Padmanabhan, Whang, 1997; Chen et al., 2000; Ouyang, Li, 2010]		Изменение спецификаций продукции [Lu, Huang, Shen, 2011; Chern, Lei, Huang, 2014]	Хищение и порча грузов [Li et al., 2010; Validi, Bhattacharya, Byrne, 2014; Lin, Huang, Yeh, 2014]	Изменение ценового уровня из-за колебаний валютных курсов [Chopra, Sodhi, 2004; Craighead et al., 2007]	Разрушение мощностей поставщиков [Yu, Zeng, Zhao, 2009; Federgruen, Yang, 2011; Sawik, 2013; Benyoucef, Xie, Tanonkou, 2013]
					Разрушение информационных систем [Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Soroor, Tarokh, Keshtgary, 2009; Ivanov et al., 2014c]
					Разрушение жизнеобеспечивающей инфраструктуры [Altay, Green, 2006; van Wassenhove, 2006]

Примечания:

* — под регламентами здесь понимаются правовые нормы;

** — в качестве примера можно привести обвал экономики на каком-либо рынке и резкое сокращение объемов продаж на нем.

хлыста» (bullwhip effect) в ЦП, которая далее была расширена на уровне математического анализа [Chen et al., 2000] и имитационного моделирования и теории управления [Perea et al., 2000; Daganzo, 2004; Villegas, Smith, 2006; Ouyang, Li, 2010]. В работе [van Hoek, 2001] сформулированы принципы снижения неопределенности спроса и рисков в ЦП на основе отложенной дифференциации продукции (postponement), которые в дальнейшем

были развиты в исследованиях [Olhager, 2003; Forza, Salvador, Trentin, 2008; Meisel, Bierwirth, 2014]. Проблематика колебания сроков поставок как причина операционных рисков рассмотрена в работах [Hsu, Li, 2011; Kouvelis, Li, 2012; Paul, Sarker, Essam, 2014]. Задержка ввода новых продуктов на рынок как следствие неопределенности взаимодействия с поставщиками явилась предметом исследований в [Zhou, Zhang, Zhou, 2013; Teimoury,

Fathi, 2013; Chaudhuri, Mohanty, Singh, 2013; Meisel, Bierwirth, 2014].

Вопросы рисков, связанных с уровнем качества конечной продукции и исходного сырья, в том числе в контексте массовых отзывов крупных партий продукции с рынков, получили развитие в работах [Pyke, Tang, 2010; Chopra, Sodhi, 2004; Schoenherr, Rao Tummala, Harrison, 2008; Lu, Huang, Shen, 2011; Chern, Lei, Huang, 2014; Steven, Dong, Corsi, 2014; Dai, Tseng, Zipkin, 2015]. Проблематика соблюдения и изменения законодательно-правовой базы как источника риска в цепях поставок нашла отражение в работах [Chopra, Sodhi, 2004; Craighead et al., 2007; Stecke, Kumar, 2009; Kleindorfer, Saad, 2005; Sodhi, Son, Tang, 2012; Li et al., 2010; Validi, Bhattacharya, Byrne, 2014; Lin, Huang, Yeh, 2014].

Применительно к рискам катастроф в цепях поставок рассматриваются проблемы разрушения структуры ЦП, а также разрушений спроса. Последняя проблематика находит отражение в работах [Goh, Lim, Meng, 2007; Azaron et al., 2008; Baghalian, Rezapour, Farahani, 2013]. Риски разрушения структуры исследуются с позиций разрушения производственных мощностей [Snyder, Daskin, 2005; Azaron et al., 2008; Qi, Shen, Snyder, 2010; Klibi, Martel, Guitouni, 2010; Baron, Milner, Naseraldin, 2011; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Lim et al., 2013; Li, Zeng, Savachkin, 2013; Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b], разрушения транспортных связей [Wilson, 2007; Klibi, Martel, Guitouni, 2010; Peng et al., 2011; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Lewis et al., 2013], разрушения мощностей поставщиков [Yu, Zeng, Zhao, 2009; Federgruen, Yang, 2011; Sawik, 2013; Benyoucef, Xie, Tanonkou, 2013], а также разрушения информационных систем [Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Soroor, Tarokh, Keshtgary, 2009; Ivanov et al., 2014c]. Наряду с «классическими» цепями поставок в промышленности в целом ряде работ рассматривается проблематика «гуманитарной логистики» и управления

ЦП (supply chain management — SCM) в условиях стихийных бедствий и природных катастроф (см., напр.: [Altay, Green, 2006; van Wassenhove, 2006]).

1.2. Меры снижения неопределенности и рисков в цепях поставок

При рассмотрении проблемы неопределенности и рисков в ЦП с системно-кибернетических позиций речь, по сути, идет о нахождении *баланса между объемом пространства неопределенности* (область риска) и *пространства системы* (когда нарушения могут быть компенсированы с помощью резервов надежности и гибкости).¹

Учет неопределенности на этапе планирования может быть достигнут за счет внесения определенной *избыточности*² в гибкость (flexibility) и надежность (reliability) (рис. 2 и 3).

В табл. 3 представлены различные методы снижения неопределенности и рисков в ЦП, а также примеры научных работ по различным методам.

Современные исследования и практика таких компаний, как Toyota, Nissan и Honda, показывают, что создание определенного «запаса прочности» является важным фактором снижения рисков в ЦП. Наряду с этим очень важно правильно определять меры, направленные на реакцию и адаптацию ЦП при возникновении аварийных ситуаций. Таким образом, задача эффективного управления ЦП, по сути, состоит в обеспечении сбалансированности уровня

¹ Создание любой системы приводит к формированию некоторого управляемого пространства, отличающегося от внешней среды. Под пространством неопределенности понимается в общем случае совокупность неконтролируемых факторов внешней среды, а под пространством системы — управляемый объем, отделенный от неопределенности внешней среды.

² Под избыточностью в данном случае понимается та часть цепи поставок, которая вводится на определенную структуру цепи поставок, при которой достигаются желаемые значения показателей эффективности в условиях детерминированности, т. е. полной определенности и отсутствия возмущающих воздействий внешней среды.

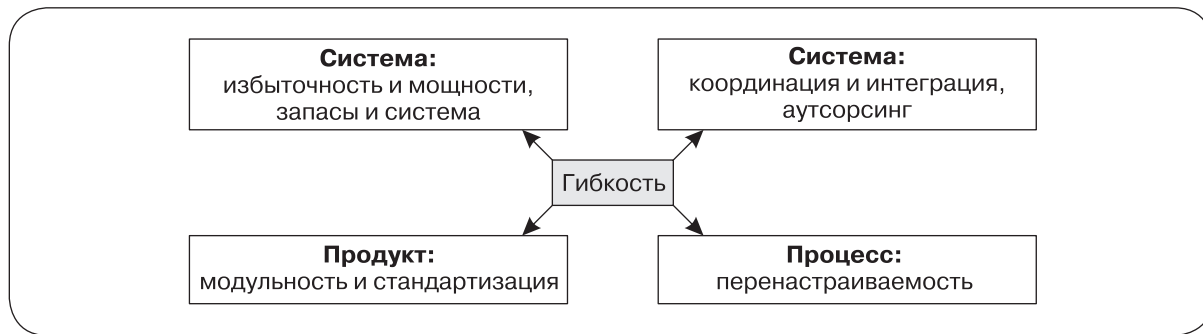


Рис. 2. Источники гибкости в цепях поставок

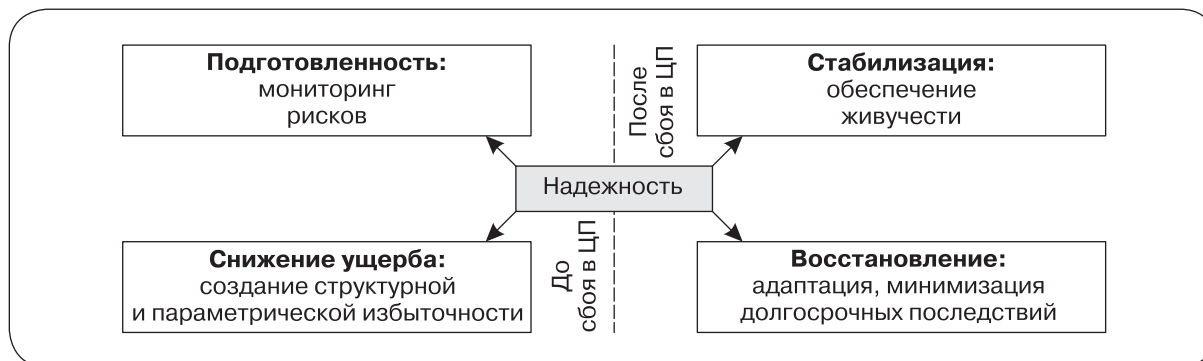


Рис. 3. Обеспечение надежности цепей поставок

управляющих воздействий (т. е. планируемого объема доходности цепи поставок и его ресурсного обеспечения) и уровня возмущающих воздействий (рис. 4).

Включение организационных мер и методов оптимизации планов реконфигурации ЦП для устранения нарушений и снижения негативного влияния нарушений на экономическую эффективность и доходность ЦП позволяет перейти от рассмотрения категории «надежность» к категории «живучесть» (resilience) ЦП. С учетом изложенного в табл. 2 и 3 в табл. 4 представлен интегрированный взгляд на источники риски и меры их снижения.

К способам снижения рисков в цепях поставок с позиций их гибкости, надежности и живучести можно отнести:

- введение избыточности структур ЦП (например, расширение ассортимента продукции, введение временных буферов, страховых запасов, дополнительных складов, запасов мощностей и т. д.);

- улучшение координации и информационного обмена для повышения качества, своевременности и доступности для всех участников цепи поставок прогнозов спроса;
- введение системы мониторинга и регулирования ЦП в случае возникновения нарушений и отклонений от плана;
- унификация элементов управления ЦП (т. е. наделение различных участков принятия решений многообразием управленческих функций, чтобы, например, в случае невозможности выполнения управленческой функции на участке А эта функция могла быть выполнена на участке В)³;
- использование методов «скользящего», или адаптивного, планирования (rolling/

³ В идеале каждый узел сложной системы должен уметь решать все задачи — тогда речь идет о самоорганизации, самоадаптации и полной ресурсной взаимозаменяемости.

Таблица 3

Инструменты снижения неопределенности и риска в цепях поставок

Гибкость	Избыточность	Организация
Привлечение альтернативных поставщиков [Kleindorfer, Saad, 2005; Tomlin, 2006; Babich, 2006; Yu, Zeng, Zhao, 2009; Wang, Gilland, Tomlin, 2010; Christopher et al., 2011; Yang et al., 2012; Pettit, Croxton, Fiksel, 2013; Sawik, 2013; Chopra, Sodhi, 2014; Tang, Gurnani, Gupta, 2014]	Формирование запасов [Shen, Coullard, Daskin, 2003; Chopra, Sodhi, 2004; Tomlin, 2006; Wilson, 2007; Bensoussan, Çakanyildirim, Sethi, 2007; Craighead et al., 2007; Shu, Ma, Li, 2010; Chen, Li, Ouyang, 2011; Hsu, Li, 2011; Kouvelis, Li, 2012; Hishamuddin, Sarker, Essam, 2013; Paul, Sarker, Essam, 2014]	Создание функции управления рисками в оргструктуре фирмы [Sheffi, Rice, 2005; Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Blackhurst, Dunn, Craighead, 2011; Pettit, Croxton, Fiksel, 2013; Schmidt, Simchi-Levi, 2013]
Обеспечение гибкости производственных процессов и расширение возможностей варьирования ассортимента [van Hoek, 2001; Graves, Tomlin, 2003; Olhager, 2003; Sheffi, Rice, 2005; Ozbayrak, Papadopoulou, Samaras, 2006; Tomlin, 2006; Forza, Salvador, Trentin, 2008; Stecke, Kumar, 2009; Teymouri, Fathi, 2013; Meisel, Bierwirth, 2014]	Создание резервных мощностей, дополнительных заводов/транспортных средств в различных регионах [Snyder, Daskin, 2005; Wilson, 2007; Goh, Lim, Meng, 2007; Azaron et al., 2008; Cui, Ouyang, Shen, 2010; Qi, Shen, Snyder, 2010; Klibi, Martel, Guitouni, 2010; Peng et al., 2011; Lewis et al., 2013; Rafiei, Mohammadi, Torabi, 2013; Baron, Milner, Naseraldin, 2011; Ivanov, Sokolov, Kaeschel, 2010; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Lim et al., 2013; Li, Zeng, Savachkin, 2013; Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b]	Разработка планов действия в рискованных ситуациях (contingency plans) [Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Blackhurst, Dunn, Craighead, 2011; Bode et al., 2011; Christopher et al., 2011; Hu, Gurnani, Wang, 2013; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b; Simchi-Levi, Schmidt, Wei, 2014]
Внедрение систем координации VMI и CPFR [Lee, Padmanabhan, Whang, 1997; Chen et al., 2000; Ouyang, Li, 2010; Sodhi, Son, Tang, 2012]	Подготовка «запасных» поставщиков (back-up suppliers) [Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Federgruen, Yang, 2011; Sawik, 2013; Benyoucef, Xie, Tanonkou, 2013]	Создание процессов и информационной системы взаимодействия с поставщиками в рискованных ситуациях [Hendricks, Singhal, 2005; Wagner, Bode, 2008; Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Bode et al., 2011; Christopher et al., 2011; Sodhi, Son, Tang, 2012; Chen, Sohal, Prajogo, 2013]
	Создание финансовых резервов [Chopra, Sodhi, 2004; Hendricks, Singhal, 2005]	Внедрение информационных систем раннего оповещения и предупреждения катастроф [Li et al., 2010]
	Защита и дублирование информационных систем [Kleindorfer, Saad, 2005; Soroor, Tarokh, Keshtgary, 2009]	Внедрение стандартов безопасности цепей поставок [Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009; Stecke, Kumar, 2009]

adaptive planning), при которых изначальные планы периодически модифицируются путем изменения параметров

ЦП или характеристик управляющих воздействий на основе поступающей по цепи обратной связи информации о теку-

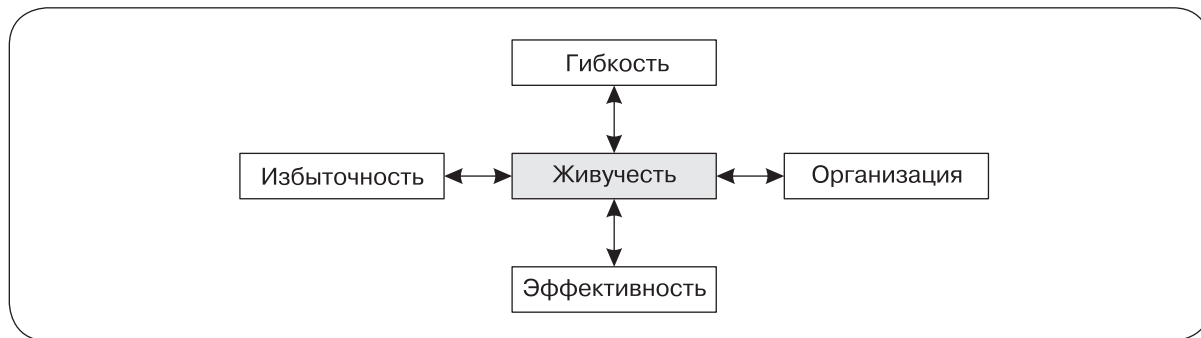


Рис. 4. Взаимосвязь экономической эффективности и живучести цепи поставок

щем состоянии цепи поставок, прошлом и обновленных прогнозов будущего;

- формирование множества неокончательных решений, например отложенной дифференциации продукции (postponement) на основе гибкого позиционирования точки проникновения заказа (order penetration point);
- переход к «дуальному сорсингу» (например, пула альтернативных поставщиков);
- проектирование транспортных систем с альтернативными маршрутами доставки;
- разработка межорганизационных планов по действиям в условиях нарушения плановых процессов и ликвидации последствий нарушений в ЦП (contingency plans);
- стандартизация производственных процессов для повышения гибкости использования мощностей;
- документирование нарушений и тренинги персонала.

Повышение надежности и живучести ЦП необходимо по целому ряду причин. Выделим две ключевые из них. Во-первых, это постоянно растущие запросы со стороны потребителей: для удовлетворения их потребностей необходимо постоянное наличие нескольких разновидностей одного и того же продукта. Во-вторых, всегда существует потребность построения наиболее коротких и быстрых цепей поставок.

Эти две причины являются наиболее важными для современных перенасыщен-

ных рынков, когда предприятия должны не только привлечь к себе интерес клиентов своих конкурентов, но и не растерять своих уже существующих покупателей. Таким образом, предприятия вынуждены снижать затраты в своих ЦП и вместе с тем удовлетворять потребности клиентов, в противном случае они рискуют утратить конкурентоспособность. Конечный потребитель продукции стал важнейшим звеном в современном управлении цепями поставок.

Гибкость позволяет ЦП быстро и эффективно реагировать на внешние изменения, что дает возможность выстроить адаптивную логистическую систему. При возникновении колебаний в ЦП ключевое значение имеет способность произвести поставку продукции до планового срока изготовления. Следует учитывать в плане и неожиданно возникающие индивидуальные заказы клиентов. Гибкость количества продукции характеризуется временем реализации плана по увеличению объема производства с учетом определенной процентной ставки. При этом гибкость потока «снизу вверх» определяется в SCOR-модели через количество дней, необходимое для того, чтобы изготовить незапланированное раннее количество продукции при условии, что объем производства увеличится на 20%.

Способность внедрять новые вариации продукции в производственную программу называют гибкостью продукта. В последние годы проводится все больше исследований, направленных на решение задачи

Таблица 4

Источники рисков в цепях поставок и инструменты их снижения

Риски и их источники		Инструменты снижения рисков												
		Гибкость			Избыточность				Организация					
		Альтернативные поставщики	Гибкие производственные процессы	Системы операционной координации	Запасы	Резервные мощности	«Запасные» поставщики	Финансовые резервы	Защита информации	Организация управления рисками	Разработка планов действия в чрезвычайных ситуациях	ИТ взаимодействия в SCM	ИТ раннего оповещения	Стандарты безопасности SCM
Операционные риски	Спрос	Колебания спроса	x	x	x	x	x	x		x		x		
		Многообразие ассортимента		x		x	x			x				
		Неточность информации			x				x	x		x		
	Поставки	Колебания сроков и объемов поставок	x	x	x	x	x	x		x				
		Задержка ввода новых продуктов на рынок	x	x	x	x	x			x	x	x		
	Продукт	Брак/отзыв готовой продукции		x		x	x			x	x	x	x	
		Брак исходных материалов	x			x		x		x	x	x	x	
		Изменение спецификаций продукции	x	x	x	x		x		x				
	Регламенты	Охрана окружающей среды								x	x	x	x	x
		Таможенные и торговые нормы								x	x	x	x	x
Хищение и порча грузов				x				x	x	x	x	x	x	
Риски разрушений и катастроф	Спрос	Разрушение спроса		x					x	x	x			
		Банкротство поставщиков и логистических провайдеров	x			x		x	x	x	x			
		Колебания валютных курсов							x	x	x	x		
	Инфраструктура	Разрушение производственных мощностей	x	x		x	x	x	x	x	x	x		
		Разрушение транспортных связей	x			x	x		x	x	x	x		
		Разрушение мощностей поставщиков	x			x		x		x	x	x		
		Разрушение информационных систем							x	x	x	x		
		Разрушение жизнеобеспечивающей инфраструктуры						x		x	x	x		
		Политические и финансовые кризисы						x	x	x	x	x		

увеличения гибкости ЦП для более быстрого и эффективного реагирования на запросы клиентов.

Один из вариантов повышения гибкости ЦП заключается в расширении струк-

туры ЦП, посредством которой возникают новые производственные сети в тот момент, когда этого требует спрос. Данный вариант близок принципу образования виртуальных предприятий. Это позволя-

ет использовать полученную гибкость не только для того, чтобы соответствовать индивидуальным заказам потребителей, но и для того, чтобы оперативно избегать отклонений от уже текущего плана производства в случае внезапного изменения количества заказов.

В работе [Tachizawa, Thomsen, 2007] эмпирически рассматриваются возможности повышения гибкости цепей поставок, относящиеся к потокам «снизу вверх» (upstream). В [Coronado, Lyons, 2007] авторы исследовали особенности воздействия оперативной гибкости в производственных цепях поставок и возникающие в этой связи возможности для производства «на заказ». В [Wadhwa, Saxena, Chan, 2008] показана роль различных инструментов гибкости (недостаточная гибкость, частичная гибкость, полная гибкость) в динамической модели цепи поставок с учетом ряда ключевых параметров и индикаторов гибкости. Авторы [Swafford, Ghosh, Murthy, 2008] доказали, что интеграция информационных технологий помогает при составлении прогнозов гибкости предприятий и способствует росту индикаторов успешности ведения бизнеса в целом и гибкости в частности. В работах [Ozbayrak, Papadopolou, Samaras, 2006; Ivanov, Sokolov, 2013] было показано наличие внутренних связей между гибкостью и адаптивностью.

Приведем пример для иллюстрации. Новая система производства и новая логистическая концепция Volkswagen (VW) должны коренным образом изменить ситуацию. Ожидается, что затраты за счет введения новой системы производства (VPS — Volkswagen Production System) в расчете на один автомобиль сократятся на 1500 евро. Достичь такого результата топ-менеджмент компании собираются следующим образом:

- до 2018 г. все заводы будут оснащены гибкими конвейерами. Это позволит выпускать на одном конвейере несколько разных моделей, как, например, это уже делается на новом заводе VW в Китае;
- будет проведена стандартизация производственных процессов: например, одна

технология лакировки автомобилей на всех 90 заводах VW заменит 90 разных технологий, существующих сегодня;

- планируется снижение излишнего многообразия продукции: так, вместо 102 вариантов систем кондиционирования останется 28 (см.: [Volkswagnis, 2012]).

Современные исследования предлагают предприятиям быть «проактивными» с позиций гибкости и выстраивать свои цепи поставок таким образом, чтобы эффективно реагировать на неопределенность. Таким образом, гибкость — это способность реагировать на изменения. Различают несколько видов гибкости.

Применительно к вопросам надежности и живучести авторы [Snyder, Daskin, 2005] разрабатывают модель планирования размещения мощностей ЦП с учетом возможных разрушений. Эта проблематика находит развитие в статьях [Peng et al., 2011; Lim et al., 2013]. В [Wilson, 2007] рассматривается влияние разрушений в транспортной логистике на эффективность ЦП. В исследовании [Yu, Zeng, Zhao, 2009] анализируется влияние числа поставщиков на устойчивость ЦП, в [Lu, Huang, Shen, 2011] данная тематика развивается за счет включения возможности замены продуктов со схожими техническими свойствами. В свою очередь, в [Wagner, Neshat, 2010] используется теория графов для анализа воздействия возмущений на участки ЦП, а авторы [Vahdani, Zandieh, Roshanaei, 2011] разрабатывают прогнозную модель разрушений в ЦП и влияния различных сценариев восстановления ЦП на ее экономическую эффективность. Также проблематика затрат на восстановление находит отражение в работах [Sodhi, Son, Tang, 2012; Pettit, Fiksel, Croxton, 2010; Hu, Gurnani, Wang, 2013]. В [Li et al., 2010] указывается на необходимость использования систем раннего оповещения в управлении рисками глобальных ЦП. В [Jüttner, Maklan, 2011] анализируется влияние экономических кризисов на устойчивость ЦП. В ряде работ рассматривается также возможность страхования от рисков

и передачи рисков третьей стороне (см., напр.: [Stecke, Kumar, 2009; Knemeyer, Zinn, Eroglu, 2009]).

2. Снижение рисков разрушений на основе применения экономико-математических методов

В данном разделе мы рассмотрим ряд работ, посвященных применению экономико-математических методов в задачах планирования и управления ЦП в условиях неопределенности и риска. Из-за ограниченного объема журнальной статьи основное внимание уделяется группе рисков катастроф. Анализ литературы проводится с учетом следующей базовой классификации:

- задачи проактивного планирования робастной структуры цепи поставок без учета мер по восстановлению экономически прибыльного функционирования ЦП после разрушений;
- задачи проактивного планирования робастной структуры цепи поставок с учетом мер по восстановлению экономически прибыльного функционирования ЦП после разрушений.

Анализ проведен по четырем основным группам методов:

- математическое программирование (МП);
- стохастическое программирование (СП);
- управление запасами (УЗ);
- имитационное моделирование и теория управления (ИМ и ТУ).

Результаты анализа представлены в табл. 5. Кратко рассмотрим ряд работ согласно предложенной классификации.

2.1. Смешанно-целочисленное программирование (*mixed-integer programming (MIP)*)

Использование MIP для задач планирования и управления ЦП в условиях неопределенности и риска началось с работы [Snyder, Daskin, 2005], в которой сформулирована задача конфигурирования робастной цепи поставок. Анализируя риск

разрушений на основе заданных вероятностей отказа ряда элементов ЦП (всего 49 узлов в сети), авторы определяли оптимальную структуру ЦП (количество узлов, место их расположения и соотношение клиентов различным узлам) с учетом минимизации совокупных постоянных и переменных (транспортных) затрат.

Данная модель была расширена в работе [Cui, Ouyang, Shen, 2010] за счет ослабления условий на гомогенные вероятности отказов для случая с одним продуктом, также добавлялось условие, что транспортные затраты не должны увеличиваться в результате перепланирования потоков в случае разрушения. В работе [Lim et al., 2010] авторы включили в рассмотрение возможность использования «запасного» поставщика (*back-up supplier*) на случай возникновения нарушений у основного поставщика. Авторы [Li, Zeng, Savachkin, 2013] расширили данную модель за счет включения в рассмотрение ограниченного бюджета на использование «запасного» поставщика и предложили решение для задачи с 8 дистрибьюторскими центрами и 150 клиентами.

В работе [Chen, Li, Ouyang, 2011] в определении робастной структуры ЦП были включены вопросы управления запасами в рамках класса моделей “*location — inventory problem*” (см.: [Shen, Coullard, Daskin, 2003; Shu, Ma, Li, 2010]). Авторами [Benyoucef, Xie, Tanonkou, 2013] была предложена модель минимизации затрат (сумма постоянных затрат, транспортных затрат, затрат на хранение и приобретение) для структур с ненадежными поставщиками.

Недавнее исследование [Lim et al., 2013] переключило внимание с вопросов оценки вероятностей отказов на анализ влияния недооценки или переоценки этих вероятностей на экономические показатели. В результате проводимых экспериментов авторы приходят к выводу, что недооценка вероятности нарушений значительно более опасна и негативно влияет на экономические показатели, чем переоценка.

Таблица 5

Применение экономико-математических методов в задачах планирования и управления цепями поставок в условиях неопределенности и риска

			Проактивное планирование без адаптации				Проактивное планирование с адаптацией				
			МП	СП	ИМ и ТУ	УЗ	МП	СП	ИМ и ТУ	УЗ	
Источники рисков	Спрос	Колебания спроса/цен	**	****	***	***	*	*	****	**	
		Многообразии ассортимента	*		***						
	Поставки	Колебания сроков и объемов поставок	*	*	****	**		*	*	*	
		Инфраструктура	Производственные мощности	*****	***	***	*	*	***	***	
	Транспортные мощности		***		***	*		**	**	*	
	Мощности поставщиков		*	***	**	***		**	**	****	
Меры снижения рисков	Гибкость	Альтернативные поставщики		*		**		*	*	*	
		Гибкие производственные/транспортные процессы	*		***				*		
	Точность	Запасы	****	**	***	***	*		****	****	
		Резервные мощности	****		**			**	**	*	
		Запасные поставщики		***	**		**	*		**	**
				*****	**			*	**		*
Рассчитываемые показатели	Экономические показатели	Постоянные затраты на структурные элементы цепи поставок	*****	**			*	**		*	
		Переменные затраты (транспорт, запасы, закупки, производство)			*****	*****	**	*	***	****	
		Затраты от разрушений	**			*	*	*		***	
		Затраты на адаптацию	*				**	*	**	****	
		Уровень сервиса/прибыль	*	**	***	*		*	**	****	
	Структурные показатели	Надежность/робастность (reliability/robustness)	*	*	*	*			*	*	
		Устойчивость (stability)			**				*		
		Живучесть (resilience)			*				*		

Примечание: количество работ по каждой из тем проранжировано от ***** — очень много до * — очень мало. Пустая ячейка отражает ситуацию, когда публикаций почти нет и/или очень мало и в малоизвестных журналах.

В работе [Rafei, Mohammadi, Torabi, 2013] предложена более сложная и реалистичная постановка задачи за счет рассмотрения нескольких продуктов и нескольких периодов. Авторы анализируют многочисленные ограничения на колебания мощностей и запасов, а также включают в рассмотрение «запасного» поставщика и запасную возможность транспортировки. В силу сложности постановки и нелинейности, вызванной в основном ограничениями по запасам, решение основано

на использовании генетического алгоритма. Для более простых постановок возможно также применение точных методов решения — например, авторы [Li, Zeng, Savachkin, 2013] успешно использовали метод ослабления ограниченной задачи (Lagrangian relaxation).

В статьях [Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b] формулируется задача нахождения оптимальной структуры ЦП для нескольких продуктов и нескольких

периодов времени с учетом возможных отказов различных узлов и каналов в различных периодах. Представленные в них модели позволяют также рассчитать планы реконфигурации потоков в ЦП. В отличие от большинства других работ авторы рассматривают уровень сервиса как основной критерий оптимизации.

2.2. Стохастическое программирование (*stochastic programming*)

Методы стохастического программирования можно разделить на классические модели [Tsiakis, Shah, Pantelides, 2001; Santoso et al., 2005; Goh, Lim, Meng, 2007] на основе учета вариабельности спроса и робастные модели [Azaron et al., 2008], в которых рассматриваются отказы узлов графа и колебания мощностей. В ряде работ (см., напр.: [Baghalian, Rezapour, Farahani, 2013]) вариабельность спроса и поставок рассматривается совместно.

Авторы [Benyoucef, Xie, Tanonkou, 2013] рассматривают ситуацию, когда поставщик является надежным в первом периоде, но становится ненадежным во втором. Проблема формулируется как нелинейная задача стохастического программирования и решена методом Монте-Карло в комбинации с ослаблением ограниченной задачи (Lagrangian relaxation). В [Sawik, 2013] разработана модель стохастического программирования для интегрированного выбора поставщиков, определения размера заказа для каждого из них и планирования расписания работ в ЦП с учетом возможных разрушений.

2.3. Управление запасами

В работах [Federgruen, Yang, 2011; Qi, 2013] анализируются периодическая модель управления запасами и эффекты повышения запасов в случае с ненадежными поставщиками. В [Hishamuddin, Sarker, Essam, 2013] авторы включают в рассмотрение решений о запасах проблематику восстановления нарушенной транспортной связи в ЦП. Предложенная ими модель определяет оптимальные размеры партий

закупок и производства в период восстановления транспортной связи с позиции минимизации совокупных затрат.

В [Babich, Burnetas, Ritchken, 2007] рассматриваются вопросы конкуренции поставщиков в условиях разрушений в ЦП. Авторы [Kouvelis, Li, 2012] предлагают модель для расчета оптимального размера страхового запаса, который должен быть использован в случае разрушения в ЦП. Отметим, что данная модель позволяет также рассчитать размер срочного заказа, который должен быть сделан в случае нарушения в ЦП.

2.4. Имитационное моделирование и теория управления

В статье [Lewis et al., 2013] для анализа влияния длительности и масштаба нарушений в работе международного порта на эффективность ЦП используются марковские сети. В свою очередь, в [Wu, Blackhurst, O'Grady, 2007] для анализа влияния нарушений на процессы и эффективность ЦП используются сети Петри; в [Xu, Wang, Zhao, 2014] применяется AnyLogic (система имитационного моделирования) для анализа влияния нарушений в цепи поставок на уровень сервиса; в [Carvalho et al., 2012] — программа ARENA для анализа влияния разрушений на длительность поставки.

Авторы [Schönlein et al., 2013] анализируют устойчивость ЦП на основе теории очередей. В [Ivanov, Sokolov, Kaeschel, 2010] предложен метод структурной динамики ЦП, а работы [Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2013; Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b] демонстрируют, в свою очередь, применение данного метода на основе комбинации теории управления и математического программирования для анализа влияния нарушений на процессы и эффективность ЦП.

В [Wilson, 2007] для анализа многостадийной цепи поставок использован метод системной динамики. Автор анализирует влияние различных транспортных нарушений на размеры поставок и динамику

запасов и приходит к выводу, что наиболее опасными являются нарушения, происходящие между складом и поставщиком первого уровня.

В работах [Braun et al., 2003; Mastragostino, Patel, Swartz, 2014] используется метод управления с прогнозированием (model-predictive control) для анализа влияния различных факторов неопределенности на уровень сервиса в ЦП.

3. Методы снижения операционных рисков

Одной из важнейших практических проблем управления ЦП является снижение влияния *неопределенности спроса* на колебания производственных и закупочных партий. Наибольшее распространение получили три метода решения этой проблемы:

- смягчение последствий «эффекта хлыста» (bullwhip effect);
- осуществление отложенной дифференциации продукции (postponement) и оптимальное определение точки проникновения заказа (order penetration point);
- создание системы координации процессов цепей поставок, таких как CPFR (collaborative planning, forecasting and replenishment) и VMI (vendor-managed inventory).

3.1. Снижение «эффекта хлыста»

В неоптимизированных цепях поставок, в которых предприятия рассматриваются как изолированные элементы, самостоятельно планирующие свои потребности и закупки, возникают существенные риски возникновения отклонений и колебаний во всей цепи. Локальная оптимизация, несогласованность действий участников ЦП и недостаточный информационный обмен в ЦП приводят к «эффекту хлыста» [Lee, Padmanabhan, Whang, 1997].

«Эффект хлыста» характеризует ситуацию, при которой незначительные изменения спроса конечного потребителя (или последнего звена ЦП, т. е. предпри-

ятия, выпускающего конечное изделие) приводят к существенным отклонениям в планах других участников цепи поставок (субподрядчиков, поставщиков и т. д.). «Эффект хлыста» вызывает увеличение амплитуды колебаний спроса по мере продвижения информации по ЦП. При возникновении «эффекта хлыста» нарушается бесперебойное движение материальных и информационных потоков в ЦП, чем вызывается риск невыполнения заказа клиента.

Основными причинами «эффекта хлыста» являются:

- ошибки в прогнозировании спроса;
- формирование предприятиями дополнительных страховых запасов и произвольное увеличение размеров партий поставок (возникает «эффект хлыста», отражающий влияние нерегулярности поставок на отклонения в планах производства вследствие объединения нескольких заказов в одну партию);
- колебания цен, запаздывания в получении необходимой информации о потребностях (возникает эффект Форрестера, при котором незначительные колебания спроса вызывают колебания в производстве);
- отклонения от плановых сроков и объемов производства и поставок;
- закупки больших партий товаров «впрок» со скидками и по специальным предложениям.

В управлении ЦП возможно снижение «эффекта хлыста» за счет:

- совместного прогнозирования и процессно-ориентированного планирования;
- координации и синхронизации бизнес-процессов;
- снижения размеров закупаемых и производимых партий;
- повышения частоты и регулярности закупок.

Применительно к этапу оперативного управления «эффект хлыста» характеризует запаздывание информирования участников ЦП об изменениях на предыдущих ее участках вследствие *информационной*

асимметрии. Отдельно следует обратить внимание на человеческий фактор возникновения «эффекта хлыста», связанный с ошибками в передаче и интерпретации информации.

3.2. Осуществление отложенной дифференциации продукции и определение точки проникновения заказа

Точка проникновения заказа (order penetration point) — очень важное понятие в управлении ЦП. Основной его смысл состоит в разделении ЦП на две части: производство на склад и создание индивидуализированного продукта. Физически точка проникновения заказа связана с местом стратегического запаса незавершенного производства. В зависимости от выбранной стратегии управления цепями поставок под стратегическим запасом может пониматься готовая продукция, полуфабрикат (например, неокрашенная ткань) или даже продукция начальной стадии производства.

В работе [Olhager, 2003] системно рассмотрены основные аспекты введения отложенной дифференциации продукции (postponement) и определения точки проникновения заказа в ЦП. Точка проникновения заказа определяет момент, до которого процессы в ЦП выстраиваются исходя из соображений эффективности и производства на склад (push-принцип), а после которого процессы в ЦП выстраиваются уже исходя из соображений обеспечения гибкости и удовлетворения потребностей клиентов (pull-принцип). Таким образом, местоположение точки проникновения заказа прямо связано с нахождением компромисса между уровнем сервиса и уровнем затрат. В идеале необходимо стремиться к максимально близкому к клиенту расположению точки проникновения заказа с обеспечением необходимого уровня сервиса. Чем больше участок «бережливой» (lean) ЦП, тем ниже затраты и ниже уровень сервиса ЦП. В свою очередь, увеличение участка адаптивной ЦП ведет к увеличе-

нию не только уровня сервиса, но и величины затрат.

В [Zinn, Bowersox, 1988] были определены условия, при которых применение стратегии отложенной дифференциации оправданно:

- высокая ценность продукции;
- значительные колебания величины продаж в отрасли;
- большое количество складов у предприятия-производителя;
- высокая степень дифференциации производимой продукции.

В [Bowersox, Closs, Copper, 2013] различаются логистический и производственный аспекты отложенной дифференциации продукции. Авторы [Waller, Dabholkar, Gentry, 2000] классифицируют производственный “postponement”, “upstream-postponement” (т.е. от производителя к покупателю) и “downstream-postponement” (т.е. от покупателя к производителю).

Приведем пример осуществления отложенной дифференциации продукции. Одной из основных проблем компании OSRAM, которая на сегодняшний день наряду с General Electric и Phillips принадлежит к трем ведущим изготовителям электроламп, являются колебания спроса на различные варианты продукции. При этом диапазон колебаний спроса составляет до 50% средней стоимости некоторых вариантов продуктов. В большинстве случаев OSRAM прогнозирует свой сбыт товаров; сезонные колебания лежат в интервале 1:2 в самом благоприятном случае, в экстремальном случае — 1:5. Причина заключается в неопределенности развития новых рынков и потребностей потребителей. В связи с этим компанией было принято решение исправить сложившуюся ситуацию через сокращение длительности производственного цикла и переход от стратегии изготовления на склад к стратегии изготовления на заказ.

Компанией были поставлены следующие цели: повышение уровня сервиса, снижение/сокращение запасов, обеспечение высокой гибкости производства. В качестве структурного изменения была предложена

отложенная дифференциация продукции в цепи поставок на основе разделения процессов производства и упаковки.

Поскольку сам спрос на электролампы в принципе является стабильным и в оптимизации нуждается только управление вариантами продукции, было принято решение о налаживании отдельного завода по упаковке ламп. За счет этого появилась возможность снизить запасы упакованных ламп на основном производстве на 15%. В свою очередь, за счет перехода к изготовлению на заказ была снижена длительность цикла закупок на 80%. При помощи стандартизированного программного обеспечения были улучшены планирование и координация цепи поставок.

4. Примеры и рекомендации по снижению операционных рисков на практике

Рассмотрим несколько примеров из практики, демонстрирующих, каким образом компании снижают риски и неопределенность в ЦП.

4.1. Риски колебаний спроса и информационного обмена

Компания Seven-Eleven Japan (SEJ) была основана в 1974 г. и к настоящему времени выросла до одной из крупнейших сетей розничной торговли, включающей в себя более 50 тыс. магазинов площадью по 100–150 м². Прямые поставки на всех участках ЦП привели к большому числу участников и объектов в цепи поставок, высоким запасам и затратам на логистику (до 70 поставок в день к магазинам). Информационный поток стал слишком длинным. Несмотря на неоправданно высокие запасы, постоянно наблюдалось отсутствие товаров в магазинах, уровень сервиса был низким вследствие медленной реакции на изменения спроса и низкой оборачиваемости запасов (25 оборотов в 1970-е гг.).

Новая система поставок направлена на повышение уровня сервиса и прибыльности бизнеса за счет снижения затрат, не-

допущения отсутствия товара (stock-out) и обеспечения высокого качества продуктов. Массивные инвестиции в информационные технологии и создание централизованного единого информационного пространства, отказ от прямых поставок, идентификация ключевых поставщиков в регионах и установление с ними долгосрочных партнерских отношений позволили добиться этих целей.

Различные производители и дистрибьюторы, объединенные по географическому признаку, консолидируют поставки для повышения загруженности грузовиков и, как следствие, снижения их количества. Пять комбинированных дистрибьюторских центров работают с пятью основными группами продуктов, классифицированных по температурному режиму:

- замороженные продукты;
- свежие продукты;
- напитки и макаронные изделия;
- готовые к потреблению продукты (например, бутерброды);
- журналы и газеты.

Поставки в магазины осуществляются из комбинированных дистрибьюторских центров, избегая час пик интервалов времени. Для готовых к потреблению продуктов поставки осуществляются три раза в день. Для замороженных продуктов достаточно трех поставок в неделю. Маршрут каждого грузовика включает несколько магазинов. Входной контроль качества не осуществляется, что экономит время и деньги.

Новая стратегия компании внесла изменения в деятельность всех участников цепи поставок. Магазины меняют расположение полок и товаров три раза в день, чтобы на самых выгодных местах оказывались товары, пользующиеся наибольшим спросом в определенное время суток. Головной офис отвечает за расположение магазинов, планирование транспорта и запасов, а также информационную систему. Своевременность поставок полностью находится в зоне ответственности поставщиков. В случае опоздания поставщик платит штраф в размере маржи

по данному виду продукции. Лучшие поставщики, напротив, поощряются и допускаются к участию в новых проектах, например 7dream.com.

Проведенные изменения позволили компании увеличить объем продаж (+11,29%), число магазинов (+5,84%), чистую прибыль (+30%), объем продаж с квадратного метра, число клиентов в день (1,059 в SEJ/880 в среднем по отрасли), оборачиваемость запасов (45 оборотов вместо 14 в 1974 г.), снизить запасы и одновременно нехватку товаров, а также снизить среднее число поездок к каждому магазину.

4.2. Риски, связанные с запасами

Существуют разные стратегии создания избыточности в запасах и поставках с точки зрения резервов и гибкости. Например, компания Dell хранит на складах в Европе только дешевые компоненты, а дорогие закупает «под заказ». Cisco, наоборот, хранит на складах в США дорогие компоненты, а дешевые изготавливает «на склад» в Азии. MTU Aero Engines, изготовитель турбинных двигателей для Daimler, имеет страховые запасы для поддержания производства в течение трех недель.

Применение принципов JIT (Just-in-Time) и JIS (Just-in-Sequence) позволило таким гигантам рынка, как Toyota, Ford, Volkswagen, значительно повысить эффективность управления логистикой и производством. Например, компания Johnson Controls является субконтрактором компании Ford и при поступлении заказа на изготовление автомобильного сиденья может исполнить его в течение четырех часов. Компания Volkswagen Sachsen в Саксонии (Германия) реализовала логистическую концепцию, в рамках которой в радиусе 10 км от сборочного завода создан кластер субпоставщиков, что позволило, во-первых, в полной мере реализовать концепции JIT и JIS (чередование партий Golf и Passat), во-вторых, снизить показатель «глубины производства» до 30%, в-третьих, существенно улучшить основные логистические показатели эффективности.

Компания Maersk Line является частью крупнейшей датской корпорации Maersk Group, базирующейся в Копенгагене. Maersk Line приносит около 50% дохода корпорации, являясь ее крупнейшим сегментом. Компания работает в бизнесе контейнерных морских перевозок, предлагая свои услуги на межконтинентальных маршрутах. Владея более чем 570 судами, Maersk Line является крупнейшей в мире в данном бизнесе. Клиентами компании являются производители продукции и логистические провайдеры (например, Kuehne&Nagel, DHL, DB Schenker), которые бронируют места на контейнеровозах на определенные маршруты. В 2011 г. Maersk Line вывела на рынок новый продукт под названием Daily Maersk, позволяющий осуществлять вместо отправок раз в неделю ежедневные рейсы из четырех азиатских портов (Shanghai, Ningbo, Yantian и Tanjung Pelepas) в три европейских порта: Felixstowe (Англия), Rotterdam (Голландия) и Bremerhaven (Германия). Одним из преимуществ данной транспортной услуги для клиента является снижение неопределенности времени поставок и, как следствие, уменьшение страховых запасов в порту назначения.

Пример из другой сферы. Компания L'Oreal совместно с сетью розничной торговли dm-drogerie markt (далее dm) реализовала проект, позволяющий планировать потребности и закупки на базе данных о складских запасах и потребностях спроса компании dm, а не на основе обработки каждого поступающего заказа (концепция vendor-managed inventory). Ранее центральный склад компании dm собирал данные о состоянии потребностей в продукции по всей территории Германии и заказывал продукцию электронно-логистических центров L'Oreal. Там товары комиссионировались и отсылались заказчику. L'Oreal реагировала исключительно на заказы, передаваемые по EDI (electronic data interchange — электронный обмен данными). Это вело к возникновению «узких мест» и отсутствию товаров, когда вдруг требовалось большее количество товаров, поскольку логистические центры

L'Oreal запрашивали стандартную продукцию у косметических фабрик на ежедневной основе, чтобы уменьшить свои складские запасы. Данные о положении на складах и продажах dm , необходимые для планирования производства и складирования (по востребованности товаров на рынке), были недоступны для компании L'Oreal.

В новой системе L'Oreal получает информацию о складских запасах производителя и пополняет склады на основании актуальных данных, существующих на момент заказа. Ответственность за диспозицию стандартной продукции⁴ перешла в обязанности поставщика. Производитель ежедневно передавал L'Oreal в центр распределения товаров данные о складских запасах и отгрузках со склада. После внедрения ИТ диспозиция производится автоматически в три этапа: планирование потребностей (demand planning), определение необходимого пополнения склада, оптимизированное с точки зрения логистики осуществление этого пополнения.

В рамках описанного проекта удалось снизить общие запасы в цепи поставок на 30% и повысить уровень сервиса и оборачиваемость запасов. Помимо возможности своевременной реакции на изменения объемов продаж и быстрого пополнения запасов, поставщики могут оценить эффективность той или иной рекламной кампании, заранее проинформировать изготовителей о необходимости увеличения мощностей для производства определенных видов продукции и т. д. Аналогичные системы внедрились или внедряются практически все крупные торговые сети, например Tesco в Великобритании.

5. Снижение рисков разрушений и катастроф

Защита ЦП (pro-active planning) связана со снижением эффективности цепи поставок за счет введения избыточности. В боль-

шинстве разработанных в этой связи моделей рассчитываются решения, в которых надежность достигается именно за счет избыточности. Следует отметить, что модели математической оптимизации ЦП теоретически очень интересны, но их практическое применение связано с целым рядом вопросов: во-первых, предположение об известных вероятностях отказов является не вполне реалистичным; во-вторых, большинство моделей предлагает решения с созданием резервных мощностей, что повышает постоянные затраты.

В отличие от операционных рисков, где рассматривается «эффект хлыста», при анализе рисков разрушений и катастроф рассматривается «эффект волны» (ripple effects) (см., напр.: [Ivanov, Sokolov, Dolgui, 2014a; Ivanov, Sokolov, Pavlov, 2014b]) (табл. 6). Отметим, что если «эффект хлыста» характеризует неопределенности и риски на параметрическом уровне, то «эффект волны» рассматривает неопределенности и риски на структурном уровне.

Приведем абстрактный пример. С точки зрения менеджмента знание вероятности пожара на складе не является серьезной основой для принятия решения. Ни один менеджер не станет открывать резервный склад только исходя из предположения о возможном пожаре. Соответственно, как указано в работах [Chopra, Sodhi, 2014; Simchi-Levi, Schmidt, Wei, 2014], значительно более важным для менеджеров является анализ *последствий* влияния разрушений на экономическую эффективность, а также разработка и тренировка по всей ЦП планов скоординированных действий в случае возможного нарушения в ее функционировании (contingency plans). Для этих целей пригодны как методы имитационного моделирования, так и методы исследования операций.

С практической точки зрения использование экономико-математических методов должно быть подкреплено соответствующими процессами управления рисками, закрепленными в организационной структуре компаний.

⁴ Диспозиция продукции — планирование сроков и объема партий закупок.

Таблица 6

Сравнение «эффекта хлыста» и «эффекта волны»

Характеристика	«Эффект хлыста» (bullwhip effect)	«Эффект волны» (ripple effect)
Уровень нарушений	Параметрические, например спрос или время поставок	Структурные, например взрыв на заводе или разрушение транспортной связи
Время устранения	Некритично в краткосрочной перспективе	Необходимо быстрое устранение
Влияние на экономическую эффективность	Влияние на текущие показатели поставок в краткосрочной перспективе	Влияние на ключевые показатели эффективности в средне- и долгосрочной перспективе
Масштаб влияния нарушения	Локальные участки цепи поставок	Возможно влияние на всю цепь поставок и ее связи с другими цепями поставок

В качестве примера можно привести концерн Nissan, который единственный из всех японских автомобилестроительных концернов закончил 2011 г. (11 марта 2011 г. недалеко от берегов Японии произошли землетрясение и цунами) с положительным балансом — с увеличением объема продаж на 9,3% при общем спаде в отрасли в тот год [Schmidt, Simchi-Levi, 2013]. Достижению такого результата способствовали:

- интеграция функции управления рисками в структуру управления ЦП — только компания Nissan из всех японских автомобилестроительных концернов имела такую отдельно выделенную функцию управления, как “supply-chain risk manager” (например, в Toyota эта функция была в компетенции директора по производству и качеству);
- разработка плана действий в чрезвычайной ситуации и его многократное апробирование на тренировках с ключевыми поставщиками в течение нескольких месяцев;
- использование ИТ для прогнозирования нарушений и взаимодействия с поставщиками в условиях нарушений в ЦП;
- создание гибких производственных процессов, позволивших быстро перепланировать производство на уцелевших после стихийного бедствия заводах;

- отказ от закупок по системе keiretsu (имеется в виду союз поставщиков в автомобилестроительной отрасли Японии) и создание глобальной ЦП с распределением заводов и поставщиков на различных континентах.

6. Перспективы исследований в области неопределенности и рисков в ЦП

Анализ литературы по проблематике источников неопределенности и риска в ЦП, методам их снижения, а также экономико-математическим методам поддержки принятия решений относительно структуры и планирования работ в ЦП позволяет сформулировать ряд тенденций и перспективных направлений исследований в данной области. Прежде всего следует отметить необходимость формирования и развития терминологической базы. Несмотря на все возрастающую популярность проблематики управления цепями поставок с учетом риска и неопределенности, к настоящему времени четкая терминологическая база в данной области отсутствует. Например, отдельные понятия (reliable network design — проектирование надежной цепи поставок) по-разному трактуются в различных работах и не объединены в единую терминологическую систему.

6.1. Взаимосвязь «организация — модель — информационные технологии»

Как показывает пример Nissan и ряд других схожих примеров, в случае серьезного разрушения в ЦП компании, например взрыва на одном из заводов, возникают три основных вопроса.

- Какое влияние нарушение оказывает на текущие процессы в ЦП?
- Как это нарушение влияет на выполнение планов и показателей эффективности?
- Что нужно сделать в данный момент и в дальнейшем для нормализации работы ЦП?

Важной предпосылкой решения данных вопросов является создание новых организационных процессов, например процесса «отклонение от плана».

Процесс управления «отклонение от плана» должен включать в себя не только этап восстановления после отклонения, но и весь цикл «Создание защиты от отклонений → Мониторинг рисков → Реакция на отклонение/стабилизация ситуации → Восстановление». Важно уделить внимание целям восстановления процессов, которыми могут быть:

- восстановление планового состояния;
- перепланирование процессов с учетом плановых показателей эффективности;
- перепланирование процессов с пересчетом плановых показателей эффективности;
- минимизация долгосрочных рисков.

Анализ затрат по процессу «отклонение от плана» должен принимать во внимание:

- затраты на мониторинг;
- затраты, возникающие из-за отклонений от плана;
- затраты на подготовку внесения изменений;
- затраты на осуществление изменений;
- потери от осуществления изменений;
- долгосрочные затраты на восстановление.

6.2. Стадия реконфигурирования (reactive planning) и интеграция с проактивным планированием

Большинство известных нам работ в области неопределенности и рисков в ЦП концентрируется на проактивных методах планирования. Вместе с тем данные современных исследований свидетельствуют о том, что от 40 до 60% рабочего времени менеджеры цепей поставок тратят на устранение нарушений в них. В дальнейшем целесообразно проведение исследований различных методов планирования применительно к разным классам отклонений и времени появления этих отклонений. Это позволит сформировать различные контуры управления, а также эмпирически определить границы временных интервалов, которые могут влиять на эффективность применения той или иной модели планирования и сопутствующего ей бизнес-процесса. Важную роль в данных исследованиях будут играть информационные технологии мониторинга и идентификации в режиме реального времени.

На этапе реализации работ (reactive stage) в цепях поставок осуществляются мониторинг и регулирование цепей поставок. Происходит сбор первичной информации о движении и сохранности поставок на основе различных датчиков (например, RFID (Radio Frequency Identification — радиочастотная идентификация) или штрихкоды). Эти актуальные данные передаются на уровень аналитических информационных систем, где происходят начальная обработка информации, ее анализ относительно соответствия планам и оповещение участников о возможных отклонениях на основе системы мониторинга цепей поставок. Эти данные передаются затем на процессный уровень, где на основе метода управления событиями вырабатываются управляющие воздействия по компенсации и устранению возникших отклонений (рис. 5).

Контур управления параметрической адаптации цепи поставок используется

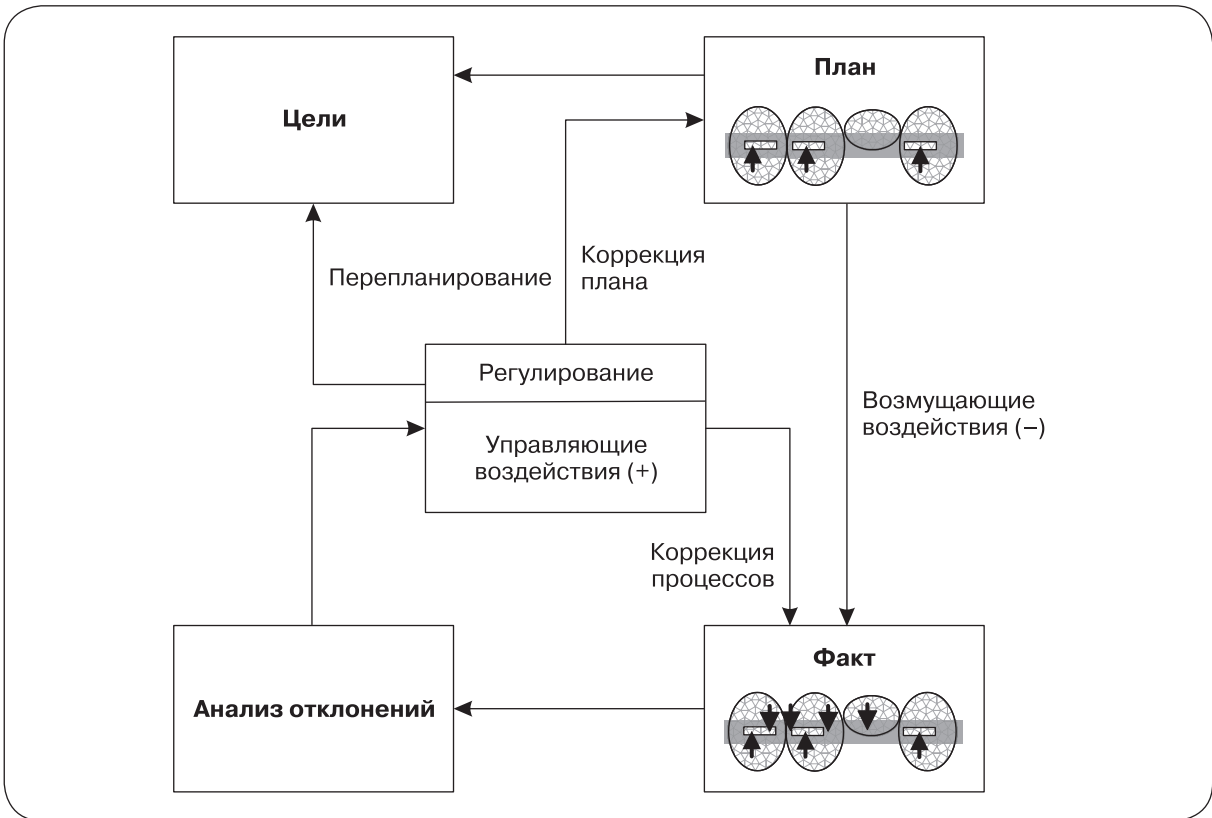


Рис. 5. Принятие решений по адаптации цепей поставок

Источник: [Иванов, 2010].

в случае, когда устранение выявленных в результате мониторинга отклонений в функционировании ЦП возможно путем корректировки некоторых параметров функционирования цепи поставок (например, сроков поставки, уровня запасов и т. д.). В случае невозможности корректировки цепи поставок путем параметрических изменений необходимо осуществить соответствующие структурные преобразования (т. е. в контуре структурной адаптации цепи поставок). Данный этап ставит более высокие требования к информационным системам поддержки принятия решений и требует комплексного анализа проблемы в тесном взаимодействии затронутых участников цепи поставок. Если структурно-функциональная адаптация не приносит желаемого эффекта, необходимо регулирование путем корректировки целевых

параметров (например, сроков окончания проекта, уровня затрат и т. д.) на основе контура целевой адаптации.

6.3. Структурные показатели анализа надежности и устойчивости цепей поставок

Важной предпосылкой эффективности управления рисками является понимание одинаковой значимости как проактивной, так и реактивной части цикла управления риском. Это включает в себя и новые ключевые показатели эффективности (например, устойчивость плана), и соответствующие процессы, и ИТ. Как показывает практика, лишь в последние годы передовые компании стали уделять должное внимание проактивной части. Это связано и с изменением менталитета управления, когда устойчивость становится столь же

важным фактором конкурентоспособности, как и минимизация затрат и повышение уровня сервиса. Но по-прежнему часто очень сложно убедить менеджеров инвестировать в проактивные мероприятия, например планировать некоторую недозагрузку мощностей, повышать запасы, внедрять ИТ раннего распознавания нарушений и т. д. Этому есть свои объективные причины — эффекты от таких инвестиций трудно оценить, а затраты реальны и вполне ощутимы с самого начала.

Вместе с тем именно от нахождения *правильного баланса управляющих воздействий в соответствии с прогнозируемыми возмущающими воздействиями зависит устойчивость цепи поставок и достижение запланированных значений показателей экономической эффективности*. Обеспечение реальной эффективности цепи поставок в соответствии с потенциальной (запланированной) эффективностью основано на обеспечении устойчивости цепей поставок. В связи с этим перспективным направлением будущих исследований является разработка моделей и формул расчета структурных показателей надежности, устойчивости, живучести цепей поставок. Эти показатели должны использоваться как дополнение к показателям экономической эффективности и характеризовать целевой конфликт «эффективность или надежность» с объективных позиций (см. также подраздел 6.2).

Например, анализ робастности ЦП позволяет ответить на следующий важный для исследователей и практиков вопрос: *«Какой уровень возмущающих воздействий способна выдержать цепь поставок?»* В свою очередь, анализ живучести дает ответ на следующий основной вопрос: *«Какие действия, когда и кем должны быть предприняты для ликвидации последствий нарушений в ЦП для восстановления планового или перехода к новому режиму работы ЦП, обеспечивающему достижение целей SCM и удовлетворение потребностей клиентов?»*

7. Заключение

В данной статье представлен критический взгляд авторов на проблематику неопределенности и рисков в цепях поставок и отражен широкий спектр литературы по рассматриваемому вопросу. Ведя речь о снижении неопределенности и рисков в цепях поставок за счет внесения резервной избыточности и развития адаптивности цепи, необходимо понимать, в чем состоит цель или стратегия управления цепью поставок. Примерами стратегий в этой области могут быть:

- обеспечение максимальной надежности плана (т. е. внесение максимального уровня избыточности в цепь поставок, чтобы свести к минимуму необходимость регулирования цепи поставок, — так называемая стратегия предотвращения риска);
- обеспечение максимальной адаптивности цепи поставок (т. е. основной акцент делается не на инвестиции в структуру цепи поставок, а на эффективность «управления по отклонениям»);
- передача риска третьим лицам (т. е. затраты не на укрепление цепи поставок, а на выплату штрафов, неустоек и т. д. на основе договоров со страховыми компаниями — так называемая стратегия финансирования или принятия риска).

Резюмируя достигнутые на сегодняшний день результаты, можно сделать два общих вывода.

Во-первых, снижение неопределенности и рисков возможно, например, за счет:

- введения определенной избыточности структур цепи поставок (временных буферов, страховых запасов, дополнительных складов, запасов мощностей и т. д.);
- улучшения координации и информационного обмена для повышения качества, своевременности и доступности для всех участников цепи поставок прогнозов спроса;
- введения системы мониторинга и регулирования цепи поставок в случае возникновения нарушений и отклонений от плана;

- формирования множества неокончательных решений (например, отложенная дифференциация продукции (postpone) или методы «скользящего», или адаптивного, планирования (rolling/adaptive planning)).

Но во-вторых, избежать неопределенности и рисков невозможно.

Говоря о перспективах исследований в данной области, в заключении отметим, что проблема управления рисками в цепях поставок не только получила широкое развитие в последние 10–15 лет в научной литературе и на практике, но и становится все более актуальной.

Примерами угроз безопасности цепей поставок компаний, которые входят в глобальные цепи поставок, могут служить пиратские атаки, землетрясения, наводнения, глобальные отключения электроэнергии, элементарное воровство и порча грузов и т.п. Поэтому проблематика безопасности цепей поставок будет приобретать в ближайшие годы все большее значение (примером может служить инициатива компании Toyota “Global Risk Management 2016”, согласно которой должны быть созданы глобальные цепи поставок, обладающие необходимой степенью устойчивости против последствий катастроф, схожих с цунами и землетрясением в Японии в 2011 г.).

Напрямую с темой безопасности связана тема мобильности в широком ее понимании — от мобильных устройств транспортировки грузов до мобильных информационных технологий. Логистические предприятия будут продолжать осуществлять инвестиции в системы мониторинга цепей поставок и мобильные технологии. Рост цен на энергоносители и увеличение логистических потоков в мире могут приводить (и приводят) к программам энергосбережения и более экономного потребления. Тема энергоемких цепей поставок, а также цепей поставок энергии из различных источников тоже относится к актуальной проблематике ближайших лет.

Глобальные цепи поставок стали развиваться в 1990-е гг. с процессами глобализа-

ции, открытия рынков и развития мировой торговли. Приоритетным направлением в тот период являлось снижение затрат за счет низких ставок оплаты труда в странах Юго-Восточной Азии, Восточной Европы и Латинской Америки. За последние 10 лет оплата труда в Китае и Бразилии ежегодно вырастает на 15–20%. Стоимость перевозок дорожает. В связи с этим в ближайшие годы ожидается пересмотр структур глобальных цепей поставок. С одной стороны, это может выражаться в процессах «бэк-сорсинга», т.е. возвращения производства в Европу и США. С другой стороны, в развитии международных цепей поставок и глобальной логистики может произойти смена приоритетов, когда на первые роли выйдут не вопросы экономии производственных затрат, а вопросы близости к стратегическим запасам природных ресурсов, портам, транспортным узлам и т.д.

Представляется, что в ближайшие годы можно будет говорить о смене парадигмы оптимизации цепей поставок: переходе от минимизации затрат к обеспечению баланса эффективности и устойчивости. Отдельное внимание будет уделяться концепции Industry 4.0, основанной на принципе взаимодействия машин и продуктов на базе интерактивного информационного обмена друг с другом без участия человека (так называемые киберфизические системы). Наряду с широкой проработкой методов планирования с учетом неопределенности и рисков (proactive planning) все большее внимание получают методы осуществления оперативного реагирования на нарушения в цепях поставок (reactive planning). Кроме того, особое внимание в ближайшем будущем будет уделяться проблематике катастрофоустойчивости цепей поставок.

Благодарности

Авторы выражают благодарность рецензентам и редакторам «Российского журнала менеджмента» за комментарии и предложения, позволившие существенно улучшить статью.

ЛИТЕРАТУРА

- Иванов Д. 2010. *Управление цепями поставок*. СПб.: СПбГПУ.
- Качалов Р. М. 2012. *Управление экономическим риском: теоретические основы и приложения*. М.; СПб.: Нестор-история.
- Соколов Б. В., Юсупов Р. М. 2006. Комплексное моделирование рисков при выработке управленческих решений в сложных организационно-технических системах. *Проблемы управления и информатики* (1–2): 39–59.
- Acar Y., Kadipasaoglu S., Schipperijn P. 2010. A decision support framework for global supply chain modelling: An assessment of the impact of demand, supply and lead-time uncertainties on performance. *International Journal of Production Research* 48 (11): 3245–3268.
- Altay N., Green W. G. 2006. OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research* 175 (1): 475–493.
- Azaron A., Brown K. N., Tarim S. A., Modarres M. 2008. A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk. *International Journal of Production Economics* 116 (1): 129–138.
- Babich V. 2006. Vulnerable options in supply chains: Effects of supplier competition. *Naval Research Logistics* 53 (7): 656–673.
- Babich V., Burnetas A. N., Ritchken P. H. 2007. Competition and diversification effects in supply chains with supplier default risk. *Manufacturing & Service Operations Management* 9 (2): 123–146.
- Baghalian A., Rezapour S., Farahani R. Z. 2013. Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. *European Journal of Operational Research* 227 (1): 199–215.
- Baron O., Milner J., Naseraldin H. 2011. Facility location: A robust optimization approach. *Production and Operations Management* 20 (5): 772–785.
- Bensoussan A., Çakanyildirim M., Sethi S. 2007. Optimal ordering policies for inventory problems with dynamic information delays. *Production & Operations Management* 16 (2): 241–256.
- Benyoucef L., Xie X., Tanonkou G. A. 2013. Supply chain network design with unreliable suppliers: A lagrangian relaxation-based approach. *International Journal of Production Research* 51 (21): 6435–6454.
- Blackhurst J., Dunn K. S., Craighead C. W. 2011. An empirically derived framework of global supply resiliency. *Journal of Business Logistics* 32 (4): 374–391.
- Bode C., Wagner S. M., Petersen K. J., Ellram L. M. 2011. Understanding responses to supply chain disruptions: Insights from information processing and resource dependence perspectives. *Academy of Management Journal* 54 (4): 833–856.
- Bowersox D. J., Closs D. J., Copper M. B. 2013. *Supply Chain Logistics Management*. 3rd ed. McGraw-Hill: Boston, MA.
- Braun M. W., Rivera D. E., Flores M. E., Carlyle W. M., Kempf K. G. 2003. A model predictive control framework for robust management of multi-product, multi-echelon demand networks. *Annual Reviews in Control* 27: 229–245.
- Business Continuity Institute. 2011. Available from http://www.thebci.org/index.php?option=com_content&view=article&id=168&Itemid=256.
- Carvalho H., Barroso A. P., Machado V. H., Azevedo S., Cruz-Machado V. 2012. Supply chain redesign for resilience using simulation. *Computers & Industrial Engineering* 62 (1): 329–341.
- Chaudhuri A., Mohanty B. K., Singh K. N. 2013. Supply chain risk assessment during new product development: A group decision making approach using numeric and linguistic data. *International Journal of Production Research* 51 (10): 2790–2804.
- Chen Q., Li X., Ouyang Y. 2011. Joint inventory-location problem under the risk of probabilistic facility disruptions. *Transportation Research Part B: Methodological* 45 (7): 991–1003.

- Chen F., Drezner Z., Ryan J.K., Simchi-Levi D. 2000. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science* **46** (3): 436–443.
- Chen J., Sohal A.S., Prajogo D.I. 2013. Supply chain operational risk mitigation: A collaborative approach. *International Journal of Production Research* **51** (7): 2186–2199.
- Chern C.-C., Lei S.-T., Huang K.-L. 2014. Solving a multi-objective master planning problem with substitution and a recycling process for a capacitated multi-commodity supply chain network. *Journal of Intelligent Manufacturing* **25** (1): 1–25.
- Chopra S., Sodhi M.S. 2004. Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *MIT Sloan Management Review* **46** (1): 52–61.
- Chopra S., Sodhi M.S. 2014. Reducing the risk of supply chain disruptions. *MIT Sloan Management Review* **55** (3): 73–80.
- Chopra S., Reinhardt G., Mohan U. 2007. The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain. *Naval Research Logistics* **54** (5): 544–555.
- Christopher M., Mena C., Khan O., Yurt O. 2011. Approaches to managing global sourcing risk. *Supply Chain Management: An International Journal* **16** (2): 67–81.
- Coronado M., Lyons A.E. 2007. Evaluating operations flexibility in industrial supply chains to support build-to-order initiatives. *Business Process Management Journal* **13** (4): 572–587.
- Craighead C., Blackhurst J., Rungtusanatham M., Handfield R. 2007. The severity of supply chain disruptions: Design characteristics and mitigation capabilities. *Decision Sciences* **38** (1): 131–156.
- Cui T., Ouyang Y., Shen Z.-J.M. 2010. Reliable facility location design under the risk of disruptions. *Operations Research* **58** (4, part 1): 998–1011.
- Daganzo C.F. 2004. On the stability of supply chains. *Operations Research* **52** (6): 909–921.
- Dai H., Tseng M.M., Zipkin P.H. 2015. Design of traceability systems for product recall. *International Journal of Production Research* **53** (2): 511–531.
- Federgruen A., Yang N. 2011. Procurement strategies with unreliable suppliers. *Operations Research* **59** (4): 1033–1039.
- Forza C., Salvador F., Trentin A. 2008. Form postponement effects on operational performance: A typological theory. *International Journal of Operations and Production Management* **28** (11): 1067–1094.
- Goh M., Lim J.Y.S., Meng F. 2007. A stochastic model for risk management in global chain networks. *European Journal of Operational Research* **182** (1): 164–173.
- Graves S.C., Tomlin B. 2003. Process flexibility in supply chains. *Management Science* **49** (7): 907–919.
- Hendricks K.B., Singhal V.R. 2005. Association between supply chain glitches and operating performance. *Management Science* **51** (5): 695–711.
- Hendricks K.B., Singhal V.R., Zhang R. 2009. The effect of operational slack, diversification, and vertical relatedness on the stock market reaction to supply chain disruptions. *Journal of Operations Management* **27** (3): 233–246.
- Hishamuddin H., Sarker R.A., Essam D. 2013. A recovery model for a two-echelon serial supply chain with consideration of transportation disruption. *Computers and Industrial Engineering* **64** (2): 552–561.
- Hsu C.I., Li H.C. 2011. Reliability evaluation and adjustment of supply chain network design with demand fluctuations. *International Journal of Production Economics* **132** (1): 131–145.
- Hu X., Gurnani H., Wang L. 2013. Managing risk of supply disruptions: Incentives for capacity restoration. *Production and Operations Management* **22** (1): 137–150.
- Ivanov D., Sokolov B. 2013. Control and system-theoretic identification of the supply chain dynamics domain for planning, analysis, and adaptation of performance under uncertainty. *European Journal of Operational Research* **224** (2): 313–323.
- Ivanov D., Sokolov B., Kaeschel J. 2010. A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations with structure dynamics considerations. *Euro-*

- pean Journal of Operational Research* **200** (2): 409–420.
- Ivanov D., Sokolov B., Pavlov A. 2013. Dual problem formulation and its application to optimal re-design of an integrated production-distribution network with structure dynamics and ripple effect considerations. *International Journal of Production Research* **51** (18): 5386–5403.
- Ivanov D., Sokolov B., Dolgui A. 2014a. The Ripple effect in supply chains: Trade-off ‘efficiency-flexibility-resilience’ in disruption management. *International Journal of Production Research* **52** (7): 2154–2172.
- Ivanov D., Sokolov B., Pavlov A. 2014b. Optimal distribution (re)planning in a centralized multi-stage network under conditions of ripple effect and structure dynamics. *European Journal of Operational Research* **237** (2): 758–770.
- Ivanov D., Sokolov B., Dilou Raguinia E.A. 2014c. Integrated dynamic scheduling of material flows and distributed information services in collaborative cyber-physical supply networks. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics* **1** (1): 18–26.
- Jüttner U., Maklan S. 2011. Supply chain resilience in the global financial crisis: An empirical study. *Supply Chain Management* **16** (4): 246–259.
- Kleindorfer P.R., Saad G.H. 2005. Managing disruption risks in supply chains. *Production and Operations Management* **14** (1): 53–68.
- Klibi W., Martel A., Guitouni A. 2010. The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review. *European Journal of Operational Research* **203** (2): 283–293.
- Knemeyer A.M., Zinn W., Eroglu C. 2009. Proactive planning for catastrophic events in supply chains. *Journal of Operations Management* **27** (2): 141–153.
- Kouvelis P., Li J. 2012. Contingency strategies in managing supply systems with uncertain lead-times. *Production and Operations Management* **21** (1): 161–176.
- Lee H.L., Padmanabhan P., Whang S. 1997. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science* **43** (4): 546–558.
- Lewis B.M., Erera A.L., Nowak M.A., White III C.C. 2013. Managing inventory in global supply chains facing port-of-entry disruption risks. *Transportation Science* **47** (2): 162–180.
- Li Q., Zeng B., Savachkin A. 2013. Reliable facility location design under disruptions. *Computers & Operations Research* **40** (4): 901–909.
- Li Y., Kramer M.R., Beulens A.J.M., Van Der Vorst J.G.A.J. 2010. A framework for early warning and proactive control systems in food supply chain networks. *Computers in Industry* **61** (9): 852–862.
- Lim M.K., Bassamboo A., Chopra S., Daskin M.S. 2013. Facility location decisions with random disruptions and imperfect estimation. *Manufacturing and Service Operations Management* **15** (2): 239–249.
- Lin C.-C., Wang T.-H. 2011. Build-to-order supply chain network design under supply and demand uncertainties. *Transportation Research: Part B* **45** (8): 1–15.
- Lin Y.K., Huang C.F., Yeh C.T. 2014. Network reliability with deteriorating product and production capacity through a multi-state delivery network. *International Journal of Production Research* **52** (22): 6681–6694.
- Lu M., Huang S., Shen Z.M. 2011. Product substitution and dual sourcing under random supply failures. *Transportation Research, Part B* **45** (8): 1251–1265.
- Mastragostino R., Patel S., Swartz C. 2014. Robust decision making for hybrid process supply chain systems via model predictive control. *Computers and Chemical Engineering* **62**: 37–55.
- Meisel F., Bierwirth C. 2014. The design of Make-to-Order supply networks under uncertainties using simulation and optimization. *International Journal of Production Research* **52** (22): 6590–6607.
- Mulani N.P., Lee H.L. 2002. New business models for supply chain excellence. In: Mulani N. (ed.). *Achieving Supply Chain Excellence Through Technology (Vol. 4)*. Montgomery Research, Inc.

- Olhager J. 2003. Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics* **85** (3): 319–329.
- Ouyang Y., Li X. 2010. The bullwhip effect in supply chain networks. *European Journal of Operational Research* **201** (3): 799–810.
- Ozbayrak M., Papadopoulou T.C., Samaras E.A. 2006. Flexible and adaptable planning and control system for an MTO supply chain system. *Robot Comput Integrated Manuf* **22** (5–6): 557–565.
- Paul S.K., Sarker R., Essam D. 2014. Real time disruption management for a two-stage batch production — inventory system with reliability considerations. *European Journal of Operational Research* **237** (1): 113–128.
- Peng P., Snyder L.V., Lim A., Liu Z. 2011. Reliable logistics networks design with facility disruptions. *Transportation Research, Part B. Methodological* **45** (8): 1190–1211.
- Perea E., Grossmann I., Ydstie E., Tahmassebi T. 2000. Dynamic modelling and classical control theory for supply chain management. *Computers and Chemical Engineering* **24**: 1143–1149.
- Pettit J.T., Fiksel J., Croxton K.L. 2010. Ensuring supply chain resilience: Development of a conceptual framework. *Journal of Business Logistics* **31** (1): 1–21.
- Pettit T.J., Croxton K.L., Fiksel J. 2013. Ensuring supply chain resilience: Development and implementation of an assessment tool. *Journal of Business Logistics* **34** (1): 46–76.
- Pyke D., Tang C.S. 2010. How to mitigate product safety risks proactively: Process, challenges and opportunities. *International Journal of Logistics Research and Applications* **13** (4): 243–256.
- Qi L. 2013. A continuous-review inventory model with random disruptions at the primary supplier. *European Journal of Operational Research* **225** (1): 59–74.
- Qi L., Shen Z.-J.M., Snyder L.V. 2010. The effect of supply disruptions on supply chain design decisions. *Transportation Science* **44** (2): 274–289.
- Rafiei M., Mohammadi M., Torabi S. 2013. Reliable multi period multi product supply chain design with facility disruption. *Decision Science Letters* **2** (2): 81–94.
- Ritchie B., Brindley C. 2007. Supply chain risk management and performance: A guiding framework for future development. *International Journal of Operations and Production Management* **27** (3): 303–322.
- Sadjady H., Davoudpour H. 2012. Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs. *Computers & Operations Research* **39** (7): 1345–1354.
- Santoso T., Ahmed S., Goetschalckx G., Shapiro A. 2005. A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty. *European Journal of Operational Research* **167** (1): 96–115.
- Sawik T. 2013. Integrated selection of suppliers and scheduling of customer orders in the presence of supply chain disruption risks. *International Journal of Production Research* **51** (23–24): 7006–7022.
- Schmidt W., Simchi-Levi D. 2013. *Nissan Motor Company Ltd.: Building Operational Resiliency*. MIT Sloan Management, Case Number 13–149.
- Schoenherr T., Rao Tummala V.M., Harrison T.P. 2008. Assessing supply chain risks with the analytic hierarchy process: Providing decision support for the offshoring decision by a US manufacturing company. *Journal of Purchasing and Supply Management* **14** (2): 100–111.
- Schönlein M., Makuschewitz T., Wirth F., Scholz-Reiter B. 2013. Measurement and optimization of robust stability of multi-class queuing networks: Applications in dynamic supply chains. *European Journal of Operational Research* **229** (1): 179–189.
- Sheffi Y., Rice J.B. 2005. A supply chain view of the resilient enterprise. *MIT Sloan Management Review* **47** (1): 41–48.
- Shen Z.M., Coullard C., Daskin M. 2003. A Joint Location-inventory Model. *Transportation Science* **37** (1): 40–55.
- Shu J., Ma Q., Li S. 2010. Integrated location and two-echelon inventory network

- design under uncertainty. *Annals of Operations Research* **181**: 233–247.
- Simangunsong E., Hendry L.C., Stevenson M. 2012. Supply-chain uncertainty: A review and theoretical foundation for future research. *International Journal of Production Research* **50** (16): 4493–4523.
- Simchi-Levi D., Schmidt W., Wei Y. 2014. From superstorms to factory fires: Managing unpredictable supply chain disruptions. *Havard Business Review* (February): 96–101.
- Snyder L.V., Daskin M.S. 2005. Reliability models for facility location: The expected failure cost case. *Transportation Science* **39** (3): 400–416.
- Sodhi M.S., Lee S. 2007. An analysis of sources of risk in the consumer electronic industry. *Journal of the Operational Research Society* **58** (11): 1430–1439.
- Sodhi M.S., Son B.-G., Tang C. 2012. Researchers' perspectives on supply chain risk management. *Production and Operations Management* **21** (1): 1–13.
- Soroor J., Tarokh M.J., Keshtgary M. 2009. Preventing failure in IT-enabled systems for supply chain management. *International Journal of Production Research* **47** (23): 6543–6557.
- Stecke K.E., Kumar S. 2009. Sources of supply chain disruptions, factors that breed vulnerability, and mitigating strategies. *Journal of Marketing Channels* **16** (3): 193–226.
- Steven A.B., Dong Y., Corsi T. 2014. Global sourcing and quality recalls: An empirical study of outsourcing-supplier concentration-product recalls linkages. *Journal of Operations Management* **32** (5): 241–253.
- Swafford P.M., Ghosh S., Murthy N. 2008. Achieving supply chain agility through IT integration and flexibility. *International Journal of Production Economics* **116** (2): 288–297.
- Tachizawa E.M., Thomsen C.G. 2007. Drivers and sources of supply flexibility: An exploratory study. *International Journal of Production Management* **27** (10): 1115–1136.
- Tang S.Y., Gurnani H., Gupta D. 2014. Managing disruptions with endogenous supply reliability. *Production and Operations Management* **23** (7): 1198–1211.
- Teimoury E., Fathi M. 2013. An integrated operations-marketing perspective for making decisions about order penetration point in multi-product supply chain: A queuing approach. *International Journal of Production Research* **51** (18): 5776–5796.
- Tomlin B. 2006. On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply-chain disruption risks. *Management Science* **52** (5): 639–657.
- Tsiakis P., Shah N., Pantelides C.C. 2001. Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research* **40**: 3585–3604.
- Vahdani B., Zandieh M., Roshanaei V. 2011. A hybrid multi-stage predictive model for supply chain network collapse recovery analysis: A practical framework for effective supply chain network continuity management. *International Journal of Production Research* **49** (7): 2035–2060.
- Validi S., Bhattacharya A., Byrne P.J. 2014. A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system — A multi-objective approach. *International Journal of Production Economics* **152**: 71–87.
- van Hoek R.I. 2001. The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. *Journal of Operations Management* **19** (2): 161–184.
- van Wassenhove L. 2006. Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of Operations Research Society* **57** (5): 475–489.
- Villegas F.A., Smith N.R. 2006. Supply chain dynamics: Analysis of inventory vs. order oscillations trade-off. *International Journal of Production Research* **44** (6): 1037–1054.
- Volkswagnis. 2012. *Wirtschaftswoche* (45): 45–50.
- Wadhwa S., Saxena A., Chan F.T.S. 2008. Framework for flexibility in dynamic supply chain management. *International Journal of Production Research* **46** (6): 1373–1404.
- Wagner S.M., Bode C. 2008. An empirical examination of supply chain performance

- along several dimensions of risk. *Journal of Business Logistics* **29** (1): 307–332.
- Wagner S. M., Neshat N. 2010. Assessing the vulnerability of supply chains using graph theory. *International Journal of Production Economics* **126** (1): 121–129.
- Waller M. A., Dabholkar P. A., Gentry J. J. 2000. Postponement, product customisation and market-oriented supply chain management. *Journal of Business Logistics* **21** (2): 133–159.
- Wang Y., Gilland W., Tomlin B. 2010. Mitigating supply risk: Dual sourcing or process improvement. *Manufacturing and Service Operations Management* **12** (3): 489–510.
- Wilson M. C. 2007. The impact of transportation disruptions on supply chain performance. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review* **43** (4): 295–320.
- Wu T., Blackhurst J., O'Grady P. 2007. Methodology for supply chain disruption analysis. *International Journal of Production Research* **45** (7): 1665–1682.
- Xia Y., Yang M.-H., Golany B., Gilbert S. M., Yu G. 2004. Real-time disruption management in a two-stage production and inventory system. *IIE Transactions* **36** (2): 111–125.
- Xu M., Wang X., Zhao L. 2014. Predicted supply chain resilience based on structural evolution against random supply disruptions. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics* **1** (2): 105–117.
- Yang Z., Aydin G., Babich V., Beil D. R. 2012. Using a dual-sourcing option in the presence of asymmetric information about supplier reliability: Competition vs. diversification. *Manufacturing and Service Operations Management* **14** (2): 202–217.
- Yu H., Zeng A. Z., Zhao L. 2009. Single or dual sourcing: Decision-making in the presence of supply chain disruption risks. *Omega* **37** (4): 788–800.
- Zhou W., Zhang R., Zhou Y. 2013. A queuing model on supply chain with the form postponement strategy. *Computers and Industrial Engineering* **66** (4): 643–652.
- Zinn W., Bowersox D. J. 1988. Planning physical distribution with the principle of postponement. *Journal of Business Logistics* **9** (2): 117–136.

Латинская транслитерация литературы, набранной на кириллице
The List of References in Cyrillic Transliterated into Latin Alphabet

- Ivanov D. 2010. *Upravlenie tsepyami postavok*. SPb.: SPbGPU.
- Kachalov R. M. 2012. *Upravlenie ekonomicheskim riskom: teoreticheskie osnovy i prilozheniya*. M.; SPb.: Nestor-istoriya.
- Sokolov B. V., Yusupov R. M. 2006. Kompleksnoe modelirovanie riskov pri vyrobote upravlencheskikh reshenij v slozhnykh organizatsionno-tehnicheskikh sistemakh. *Problemy upravleniya i informatiki* (1–2): 39–59.

Статья поступила в редакцию
 14 ноября 2014 г.