

УДК 519.853.4::658::334.726

ББК 65.290-2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВНУТРЕННИХ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК МУЛЬТИНАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПАНИИ С ДВУХПЕРЕДЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Сухобоков А. А.¹, Тихонов И. В.²

(Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана)

Описана история развития математических моделей для комплексной оптимизации внутренних цепочек поставок мультинациональных компаний. Показано, что основным направлением развития являются квадратичные модели, в которых в качестве переменных используются размеры товаропотоков между дочерними предприятиями и трансфертные цены. На основании ранее разработанной модели для компаний с однопередельным производством предложена математическая формулировка модели для компаний с двухпередельным производством. Для разработанной модели определены условия её применения и рассмотрен набор практических ситуаций, когда эти условия нарушаются, и модель должна быть адаптирована к специфике конкретной мультинациональной компании.

Ключевые слова: Оптимизация внутренних цепочек поставок, мультинациональная компания, двухпередельное производство, трансфертные цены, прибыль после налогообложения.

1. Введение

Оптимизационные постановки задач эффективной организации транспортировки товаров возникли на начальных этапах формирования линейного программирования. В качестве одного из первых примеров обращения к этой тематике можно привести статью Л. В. Канторовича и М. К. Гавурина 1949 г. [1]. В данной статье проблема оптимизации транспортировки рассматривается как составная часть задачи оптимизации внутренних цепочек поставок больших мультинациональных компаний, имеющих дочерние предприятия в разных странах. Краткая история развития соответствующих моделей до 2000 г. излагается согласно сведениям из [11], а далее по реальным публикациям.

В 1964 г. W. J. Baumol и T. Fabian сформулировали задачу максимизации общей прибыли распределённой компании за счёт варьирования трансфертных цен между отдельными структурными единицами этой компании [4]. Предложенная ими формулировка представляла собой задачу линейного программирования.

В 1976 г. L. Nieckels предложил формулировку математической задачи оптимизации деятельности мультинациональной компании, в которой поиск максимума прибыли осуществлялся как за счёт варьирования товаропотоков между дочерними компаниями, так и за счёт варьирования трансфертных цен [9]. Предложенная модель имела ряд ограничений:

- Предполагалось, что мультинациональная компания имеет центральный распределительный центр, из которого все продукты транспортируются в дочерние компании.
- В модели отсутствовала ведомость материалов Bill of Materials (BOM), определяющая количественное использование исходных материалов для производства конечных продуктов.
- Не учитывалась возможность распределения транспортных расходов, они всегда относятся на счет получателя.

В 1989 г. M. A. Cohen, M. Fisher и R. Jaikumar представили динамическую нелинейную модель смешанного целочисленного программирования [5], в которой максимизировалась прибыль мультинациональной компании после уплаты налогов. Модель является нелинейной за счет использования в ней трансфертных цен и переменных, отражающих принятые решения о распределении накладных расходов на заводы. Трансфертная цена каждого продукта формировалась из надбавки и суммы затрат на производство продукции, плюс затраты на транспортировку, включая пошлины. Это являлось недостатком этой модели, так как в большинстве случаев пошлины зависят от цены перемещаемых товаров, а в статье они рассматриваются как часть стоимости доставки за единицу товара. На базе этой модели M. A. Cohen и H. L. Lee предложили многопродуктовую модель для одного периода, которая формализует задачу распределения ресурсов для производителей персональных компьютеров

¹ Артем Андреевич Сухобоков, кандидат технических наук, доцент (artem.sukhobokov@yandex.ru)

² Тихонов Илья Владимирович, бакалавр, студент (ilya.tikhonov@optimalmngmnt.com)

[6]. Это была первая модель, в которой были введены бинарные переменные для распределения транспортных расходов между поставщиком и потребителем.

Одной из наиболее сложных была модель, описанная в 1995 г. авторами B. C. Arntzen, G. G. Brown, T. P. Harrison, и L. L. Trafton. Эта модель применялась для оптимизации глобальных цепочек поставок корпорации Digital Equipment [3]. Модель представляла собой мультипериодическую многопродуктовую задачу смешанного целочисленного программирования. Целевая функция предполагала минимизацию переменных производственных затрат, стоимости запасов, затрат на транспортные расходы, постоянных производственных затрат и затрат связанных со стилем продукции за вычетом экономии от возврата пошлин и снижения пошлин. Все эти переменные входили с весовым коэффициентом α . Целевая функция также включала время производства и время транспортировки. Эти переменные входили с весовым коэффициентом $(1 - \alpha)$. Как осуществлялось управление этими двумя группами параметров, не описано. Предположительно коэффициент α задавался пользователем. Трансфертные цены не входили число переменных. Налоги учитывались только косвенно в виде составляющих переменных себестоимости.

Основываясь на перечисленных работах, C. J. Vidal и M. Goetschalckx в 2001 г. предложили хорошо продуманную модель управления внутренними цепочками поставок мультинациональной компании, в которой сформулирована задача максимизации глобальной прибыли после уплаты налогов [11]. В модели реализована возможность поставки сырья от внешних глобальных поставщиков, учитывается стоимость запасов, предусмотрена возможность распределения транспортных расходов между участниками цепочки поставок. Также предусмотрены различные варианты формирования трансфертных цен (для стран, где по законодательству цены формируются исходя из стоимости товаров по контрактам CIF, и для стран, где по законодательству цены формируются исходя из стоимости товаров по контрактам FOB). Модель сформулирована как задача квадратичного программирования с линейной целевой функцией. Для описания перемещения товаров каждого вида от одной дочерней компании к другой используются две переменные: величина товаропотока и трансфертная цена.

В 2008 г. T. Miller и R. de Matta предложили нелинейную модель для максимизации глобальной прибыли мультинациональной компании, которая позволяет определить оптимальную стратегию производства для каждого завода, а также оптимальные планы закупок и дистрибуции в сочетании со значениями трансфертных цен [8]. Модель учитывает налоги и курсы обмена валют в каждой стране, а также допустимые интервалы трансфертных цен. Предложенная модель может одновременно использоваться как для тактического, так и для стратегического планирования цепочек поставок. Например, с её помощью компания может оценивать робастность сформированного плана, и, если необходимо, его корректировать, или же с помощью той же модели можно анализировать влияние обменных курсов на план в течение нескольких лет. В связи с отсутствием эффективных методов решения нелинейных задач большой размерности для того чтобы применять модель на практике авторы предложили несколько допущений и аппроксимировали разработанную модель до линейной.

В 2008 г. S. Perron, P. Hansen, S. Le Digabel и N. Mladenovic предложили новую формулировку представленной в [11] задачи [10]. Они разработали модель только для стран, где по законодательству цены формируются исходя из стоимости товаров по контрактам CIF, но зато им удалось примерно на 65% сократить число квадратичных слагаемых в ограничениях, что позволяет сократить время решения задачи или работать с моделями увеличенной размерности.

В работе Сухобокова А.А. [2] представленная в [10] модель была доработана, чтобы учитывать присутствующие в российской экономике НДС, НДС и экспортные пошлины.

В 2012 г. M. Goetschalckx, C. J. Vidal и J. I. Hernández на основе модели, представленной в [2] предложили эвристическую процедуру для решения задачи реконфигурации цепочки поставок мультинациональной компании [11]. Процедура обеспечивает поиск оптимального расположения нового дополнительного завода, включаемого в цепочку поставок, при котором будет генерироваться максимальная общая чистая прибыль после налогообложения. При этом в статье рассматриваются внутренние цепочки поставок мультинациональных компаний с двухпередельным характером производства, т.е. цепочки, в которых из исходного сырья на заводах первого передела производятся полуфабрикаты, а потом из них на заводах второго передела производятся конечные продукты. Авторы сообщают, что на базе модели, представленной в [11], ими разработана модель для мультинациональных компаний с двухпередельным характером производства, но не приводят математическое описание этой модели из-за его большого объема.

В данной статье представлена модель для оптимизации внутренних цепочек поставок мультинациональных компаний с двухпередельным характером производства на основе модели, представленной в [2]. В силу уменьшенного числа квадратичных элементов предлагаемая модель лучше подходит для практического применения при решении задач оптимизации цепочек поставок. Представленная в [2] модель с одним производственным переделом может применяться в нефтяных компаниях, компаниях промышленности строительных материалов и в других отраслях, для которых характерно одно-

передельное производство. Описываемая же ниже модель цепочек поставок с двумя переделами соответствует организации внутренних цепочек поставок в компаниях цветной металлургии, химической промышленности и ряде других отраслей.

Пример внутренней цепочки поставок для мультинациональной компании с двухпередельным производством представлен на рис. 1.

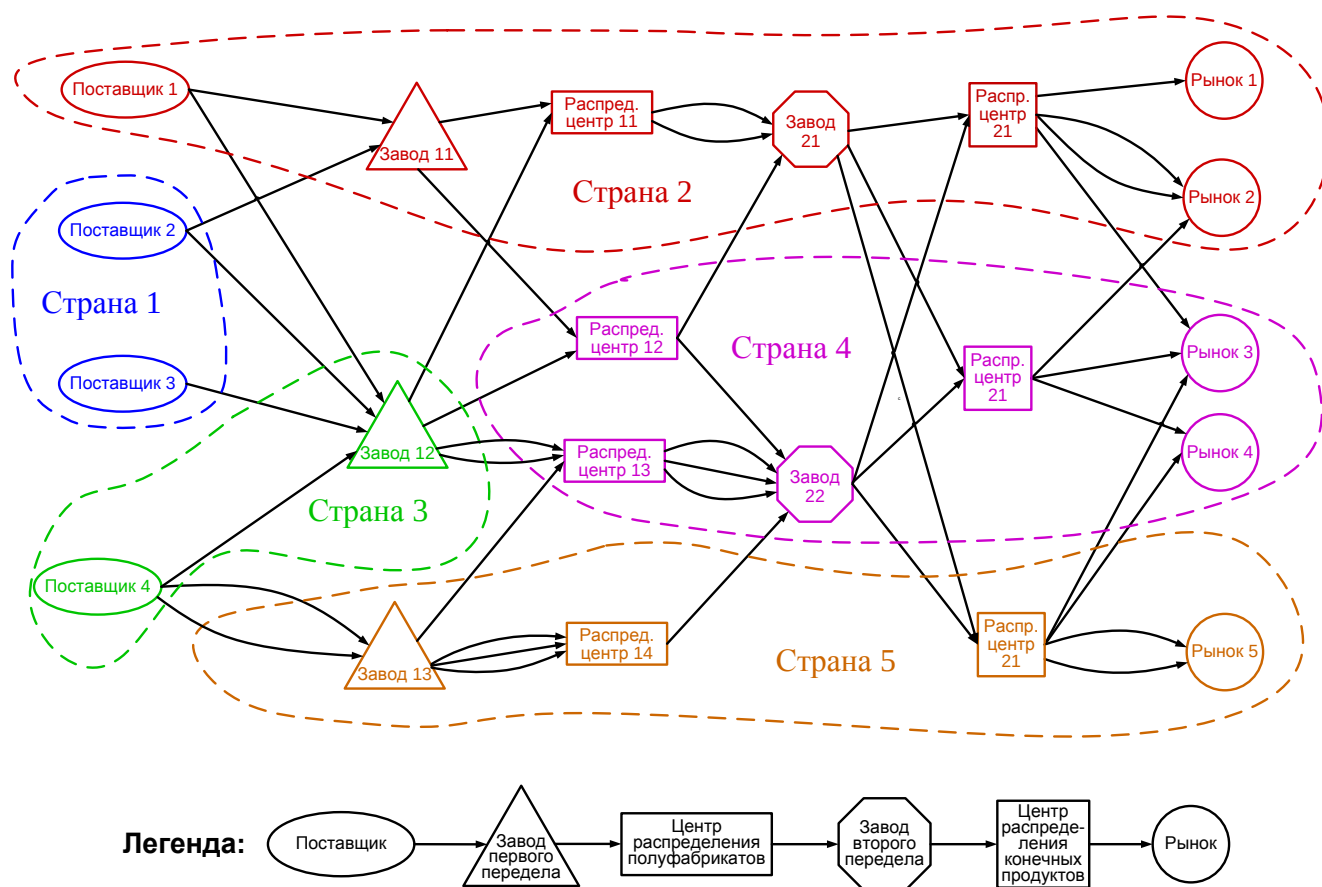


Рис. 1. Пример внутренней цепочки поставок для мультинациональной компании с двухпередельным производством

2. Описание модели

Условия применения модели:

1. Структура цепочки поставок полностью определена до проведения оптимизации и не меняется в процессе выполнения операций.
2. Весь расчёт делается на один период.
3. Перемещение товаров происходит только в одном направлении: от поставщиков к производственным площадкам первого передела, далее к центрам распределения полуфабрикатов, затем на производственные площадки второго передела, от них к распределительным центрам готовой продукции и от них в рыночные зоны.
4. Материнская компания, в которой консолидируется прибыль всего предприятия, не платит налоги на прибыль, которую ей перечисляют дочерние компании после налогообложения.
5. Дочерние предприятия начисляют прибыль по локальному законодательству страны, в которой они располагаются. Размер прибыли дочерних компаний никак не регламентируется.
6. Структура предприятия и степень его вертикальной интеграции позволяют принимать централизованные решения о величине трансфертных цен в интересах общей прибыли предприятия.
7. Найденный оптимальный план производства и транспортировки не обязательно будет удовлетворять все позиции плана продаж и все заявки клиентов. Такой подход позволяет проводить расчёты для анализа прибыльности вариантов, в которых отсутствуют отдельные ключевые клиенты, продукты или внешние поставщики сырья.

8. Используемые трансфертные цены имеют верхние и нижние границы, которые определённым образом связаны с рыночными ценами, затратами на производство и нормами прибыли. Во многих случаях эти зависимости регулируются налоговым законодательством.
9. Для того чтобы избежать претензий налоговых органов, трансфертные цены на один и тот же продукт (полуфабрикат, сырьё) устанавливаются одинаковыми для конкретной дочерней компании независимо от того, кому она производит поставки. Трансфертные цены не включают стоимость транспортировки, которая рассчитывается независимо для каждого маршрута и направления поставок.
10. Импортные налоговые пошлины платятся импортёрами и базируются на стоимости импортируемых товаров по контрактам CIF. Экспортные налоговые пошлины платятся экспортёрами и базируются на стоимости товаров по контрактам FOB. Возвратные пошлины отсутствуют.
11. Импортные и экспортные квоты, установленные какими-либо межгосударственными договорами или договорами с головной компанией, отсутствуют.
12. Затраты на производство и транспортировку в каждом узле логистической цепочки описываются простой линейной функцией без изломов, включающей фиксированные затраты и переменные затраты с постоянным коэффициентом к объёму товаропотока по каждому виду товаров.
13. Не происходит естественной убыли товаров в процессе их хранения, перевалки и транспортировки.
14. Сроки годности товаров бесконечны или лежат за верхней границей моделируемого периода времени.

Введем обозначения для участников цепочки поставок:

- S – поставщик;
- $MP1$ – производственная площадка первого передела;
- $DC1$ – центр распределения полуфабрикатов, полученных после первого передела;
- $MP2$ – производственная площадка второго передела;
- $DC2$ – центр распределения конечных продуктов, полученных после второго передела;
- C – рыночная зона.

Определим используемые множества и индексы:

I = Множество поставщиков, индексированное по i .

I' = Множество внутренних поставщиков.

$I'(j)$ = Множество внутренних поставщиков, которые могут отправить, по крайней мере, одно сырьё на $MP1$ $j \in J$.

I'' = Множество внешних поставщиков; $I' \cup I'' = I$, $I' \cap I'' = \emptyset$

$I'(j)$ = Множество внешних поставщиков, которые могут отправить, по крайней мере, одно сырьё на $MP1$ $j \in J$.

J = Множество $MP1$, индексированное по j .

J^C = Множество $MP1$, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF.

$J(s)$ = Множество $MP1$, которые могут производить полуфабрикат $s \in S$.

$J(i)$ = Множество $MP1$, которые могут использовать по крайней мере, одно сырьё, поставляемое поставщиком $i \in I$.

$J(k)$ = Множество $MP1$, которые могут поставлять полуфабрикаты на $DC1$ $k \in K$.

K = Множество $DC1$, индексированное по k .

$K(j)$ = Множество $DC1$, которые могут получать полуфабрикаты от $MP1$ $j \in J$.

$K(l)$ = Множество $DC1$, которые могут обслуживать $MP2$ $l \in L$.

K^C = Множество $DC1$, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF.

L = Множество $MP2$, индексированное по l .

L^C = Множество $MP2$, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF.

$L(p)$ = Множество $MP2$, которые могут производить готовый продукт $p \in P$.

$L(k)$ = Множество $MP2$, которые могут использовать по крайней мере, один полуфабрикат, поставляемый $DC1$ $k \in K$.

$L(m)$ = Множество $MP2$, которые могут поставлять готовые продукты на $DC2$ $m \in M$.

M = Множество $DC2$, индексированное по m .

$M(l)$ = Множество $DC2$, которые могут получать продукты от $MP2\ l \in L$.

$M(n)$ = Множество $DC2$, которые могут обслуживать рыночную зону $n \in N$.

M^C = Множество $DC2$, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF.

N = Множество рыночных зон, индексированных по n .

$N(m)$ = Множество рыночных зон, которые могут быть обслужены $DC2\ m \in M$.

T = Множество способов транспортировки, индексированное по t .

$T(i,j)$ = Множество доступных способов транспортировки между поставщиком i и $MP1\ j$.

$T(j,k)$ = Множество доступных способов транспортировки между $MP1\ j$ и $DC1\ k$.

$T(k,l)$ = Множество доступных способов транспортировки между $DC1\ k$ и $MP2\ l$.

$T(l,m)$ = Множество доступных способов транспортировки между $MP2\ l$ и $DC2\ m$.

$T(m,n)$ = Множество доступных способов транспортировки между $DC2\ m$ и рыночной зоной n .

P = Множество конечных продуктов, индексированное по p .

$P(l)$ = Множество конечных продуктов, которые могут производиться на $MP2\ l \in L$.

$P(s)$ = Множество конечных продуктов, которые могут производиться с использованием полуфабрикатов $s \in S$.

$P(m)$ = Множество конечных продуктов, которые могут распределяться через $DC2\ m \in M$.

S = Множество полуфабрикатов, производимых $MP1$, индексированное по s .

$S(j)$ = Множество полуфабрикатов, которые могут производиться на $MP1\ j \in J$.

$S(k)$ = Множество полуфабрикатов, которое может распределяться через $DC1\ k \in K$.

$S(l)$ = Множество полуфабрикатов, которые могут использоваться на $MP2\ l \in L$.

$S(r)$ = Множество полуфабрикатов, которые могут производиться с использованием сырья r .

R = Множество сырья, индексированное по r .

$R(i)$ = Множество сырья, которое может быть поставлено поставщиком $i \in I$.

$R(j)$ = Множество сырья, которое может быть использовано $MP1\ j \in J$.

Параметры модели:

A_{ir} = Единицы потребления ресурсов поставщика i при производстве сырья $r \in R(i)$; [единицы ресурсов/единицы r].

B_{js} = Единицы потребления ресурсов $MP1\ j$ при производстве полуфабрикатов $s \in S(j)$; [единицы ресурсов/единицы s].

BC_{ijtr} = Затраты на материально-техническое снабжение (включая транспортировку, страхование и связанные затраты без учёта НДС; исключая импортные пошлины на сырьё) сырья $r \in R(i) \cap R(j)$, отгруженного внешним поставщиком $i \in I''$ на $MP1\ j \in J(i)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(i,j)$; [выбранная денежная единица/единица r].

C_{lp} = Единицы потребления ресурсов $MP2\ l$ при производстве конечного продукта $p \in P(l)$; [единицы ресурсов/единицы p].

$CD1_k$ = Мощность $CD1\ k$ по приёму и отгрузке всех полуфабрикатов $s \in S(k)$ в ходе моделируемого периода; [единица ресурсов/единица времени].

$CD2_m$ = Мощность $CD2\ m$ по приёму и отгрузке всех конечных продуктов $p \in P(m)$ в ходе моделируемого периода; [единица ресурсов/единица времени].

$CP1_j$ = Производственная мощность $MP1\ j$ по производству всех полуфабрикатов $s \in S(j)$ в ходе моделируемого периода; [единица ресурсов/единица времени].

$CP2_l$ = Производственная мощность $MP2\ l$ по производству всех конечных продуктов $p \in P(l)$ в ходе моделируемого периода; [единица ресурсов/единица времени].

CS_i = Мощность поставщика i по поставке всех видов сырья $r \in R(i)$ в ходе моделируемого периода; [единица ресурсов/единица времени].

D_{ks} = Единицы потребления ресурсов $DC1\ k$ при приёме и отгрузке полуфабрикатов $s \in S(k)$; [единицы ресурсов/единицы s].

DEM_{np} = Запланированный спрос на готовую продукцию p в рыночной зоне n ; [единицы p /единицы времени].

DR_{jr} = Величина импортной пошлины на единицу сырья $r \in R(i) \cap R(j)$, поставляемого от поставщика $i \in I$ на $MP1\ j \in J(i)$; [параметр не имеет размерности, % к цене сырья].

DR_{jks} = Величина импортной пошлины на единицу полуфабриката $s \in S(j)$, отгруженную с $MP1\ j$ на $DC1\ k$; [параметр не имеет размерности, % к цене полуфабриката].

DR_{kls} = Величина импортной пошлины на единицу полуфабриката $s \in S(j)$, отгруженную с $DC1\ k$ на $MP2\ l$; [параметр не имеет размерности, % к цене полуфабриката].

DR_{imp} = Величина импортной пошлины на единицу конечного продукта $p \in P(j)$, отгруженного с $MP2\ l$ на $DC2\ m$; [параметр не имеет размерности, % к цене конечного продукта].

E_{mp} = Единицы потребления ресурсов $DC2\ m$ при приёме и отгрузке конечных продуктов $p \in P(m)$; [единицы ресурсов/единицы p].

ER_{ijr} = Величина экспортной пошлины на единицу сырья $r \in R(i) \cap R(j)$, поставляемого от поставщика $i \in I$ на $MP1\ j \in J(i)$; [параметр не имеет размерности, % к цене сырья].

ER_{jks} = Величина экспортной пошлины на единицу полуфабриката $s \in S(j) \cap S(k)$, отгруженную от $MP1\ j$ к $DC1\ k$; [параметр не имеет размерности, % к цене полуфабриката].

ER_{kls} = Величина экспортной пошлины на единицу полуфабриката $s \in S(k) \cap S(l)$, отгруженную от $DC1\ k$ на $MP2\ l$; [параметр не имеет размерности, % к цене полуфабриката].

ER_{lmp} = Величина экспортной пошлины на единицу конечного продукта $p \in P(l) \cap P(m)$, отгруженную с $MP2\ l$ на $DC2\ m$; [параметр не имеет размерности, % к цене конечного продукта].

ER_{mnp} = Величина экспортной пошлины на единицу конечного продукта $p \in P(m)$, отгруженную с $DC2\ m$ в рыночную зону n ; [параметр не имеет размерности, % к цене конечного продукта].

ET_{ir} = Величина налога на добычу полезных ископаемых на единицу сырья $r \in R(i)$ в стране поставщика $i \in I'$; [выбранная денежная единица].

FC_i = Фиксированные затраты внутреннего поставщика $i \in I'$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица времени].

FC_j = Фиксированные затраты $MP1\ j$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица времени].

FC_k = Фиксированные затраты $DC1\ k$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица времени].

FC_l = Фиксированные затраты $MP2\ l$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица времени].

FC_m = Фиксированные затраты $DC2\ m$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица времени].

HC_{ks} = Стоимость погрузочно-разгрузочных работ единицы полуфабриката s в $DC1\ k$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица s].

HC_{mp} = Стоимость погрузочно-разгрузочных работ единицы конечного продукта p в $DC2\ m$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица p].

IC_{ijr} = Себестоимость без учёта НДС, технологических потерь и технологических запасов единицы сырья $r \in R(i) \cap R(j)$, поставляемого внутренним поставщиком $i \in I'$ на $MP1\ j \in J(i)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(i,j)$ [выбранная денежная единица/единица сырья r].

IC_{jks} = Себестоимость без учёта НДС, технологических потерь и технологических запасов единицы полуфабриката $s \in S(j) \cap S(k)$, поставляемого от $MP1\ j$ на $DC1\ k \in K(j)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(j,k)$ [выбранная денежная единица/единица p].

IC_{kls} = Себестоимость без учёта НДС, технологических потерь и технологических запасов единицы $s \in S(k) \cap S(l)$, поставляемого от $DC1\ k$ на $MP2\ l \in L(k)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(k,l)$ [выбранная денежная единица/единица p].

IC_{lmp} = Себестоимость без учёта НДС, технологических потерь и технологических запасов единицы конечного продукта $p \in P(l) \cap P(m)$, поставляемого от $MP2\ l$ на $DC2\ m \in M(l)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(l,m)$ [выбранная денежная единица/единица p].

IC_{mnp} = Себестоимость без учёта НДС, технологических потерь и технологических запасов единицы конечного продукта $p \in P(m)$, поставляемого от $DC2\ m$ в рыночную зону $n \in N(m)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(m,n)$ [выбранная денежная единица/единица p].

PC_{ir} = Переменные затраты без учёта НДС на производство сырья $r \in R(i)$ внутренним поставщиком $i \in I'$ (включая транспортные затраты от вендоров и все другие связанные затраты, если они есть, за исключением экспортных пошлин поставщика); [выбранная денежная единица/единица r].

PC_{js} = Переменные затраты без учёта НДС на производство единицы полуфабриката $s \in S(j)$ на $MP1\ j$ (исключая затраты на сырьё); [выбранная денежная единица/единица s].

PC_{lp} = Переменные затраты без учёта НДС на производство единицы конечного продукта $p \in P(l)$ на $MP2\ l$ (исключая затраты на сырьё); [выбранная денежная единица/единица p].

Q_{jrs} = Количество сырья r , необходимого для производства одной единицы полуфабриката $s \in S(r)$ на $MP1\ j \in J(s)$; [единица r /единица s].

Q_{lsp} = Количество полуфабриката s , необходимого для производства одной единицы конечного продукта $p \in P(s)$ на $MP2\ l \in L(p)$; [единица s /единица p].

SC_{ijtr} = Доля технологических потерь и технологических запасов сырья $r \in R(i) \cap R(j)$ на единицу сырья, поставляемого внутренним поставщиком $i \in I'$ на $MP1\ j \in J(i)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(i,j)$. Доля включает технологические запасы (например, запасы в трубопроводе), за-

траты сырья на периодическое пополнение запасов и резервные запасы [параметр не имеет размерности].

SC_{jks} = Доля технологических потерь и технологических запасов полуфабриката $s \in S(j) \cap S(k)$ на единицу полуфабриката, поставляемого от $MP1 j$ на $DC1 k \in K(j)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(j, k)$. Доля включает технологические запасы (например, запасы в трубопроводе), затраты полуфабриката на периодическое пополнение запасов и резервные запасы [параметр не имеет размерности].

SC_{kls} = Доля технологических потерь и технологических запасов полуфабриката $s \in S(k) \cap S(l)$ на единицу полуфабриката, поставляемого от $DC1 k$ на $MP2 l \in L(k)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(k, l)$. Доля включает технологические запасы (например, запасы в трубопроводе), затраты полуфабриката на периодическое пополнение запасов и резервные запасы; [параметр не имеет размерности].

SC_{lmp} = Доля технологических потерь и технологических запасов конечного продукта $p \in P(l) \cap P(m)$ на единицу конечного продукта, поставляемую от $MP2 l$ на $DC2 m \in M(l)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(l, m)$. Доля включает технологические запасы (например, запасы в трубопроводе), затраты конечного продукта на периодическое пополнение запасов и резервные запасы; [параметр не имеет размерности].

SC_{mnp} = Доля технологических потерь и технологических запасов конечного продукта $p \in P(m)$ на единицу конечного продукта, поставляемую от $DC2 m$ в рыночную зону $n \in N(m)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(m, n)$. Доля включает технологические запасы (например, запасы в трубопроводе), затраты конечного продукта на периодическое пополнение запасов и резервные запасы; [параметр не имеет размерности].

SP_{np} = Рыночная цена без учёта НДС конечного продукта p в рыночной зоне n ; [выбранная денежная единица/единица p].

TC_{ijtr} = Транспортные затраты (исключая пошлины и НДС) на единицу сырья $r \in R(i) \cap R(j)$, отгруженного внутренним поставщиком $i \in I'$ на $MP1 j \in J(i)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(i, j)$; [выбранная денежная единица/единица r].

TC_{jks} = Транспортные затраты (исключая пошлины и НДС) на единицу полуфабриката $s \in S(j) \cap S(k)$, отгруженную с $MP1 j$ на $DC1 k$ с использованием способа транспортировки $t \in T(j, k)$; [выбранная денежная единица/единица s].

TC_{kls} = Транспортные затраты (исключая пошлины и НДС) на единицу полуфабриката $s \in S(k) \cap S(l)$, отгруженную с $DC1 k$ на $MP2 l$ с использованием способа транспортировки $t \in T(k, l)$; [выбранная денежная единица/единица s].

TC_{lmp} = Транспортные затраты (исключая пошлины и НДС) на единицу конечного продукта $p \in P(l) \cap P(m)$, отгруженную с $MP2 l$ на $DC2 m$ с использованием способа транспортировки $t \in T(l, m)$; [выбранная денежная единица/единица p].

TC_{mnp} = Транспортные затраты (исключая пошлины и НДС) на единицу конечного продукта $p \in P(m)$, отгруженную с $DC2 m$ в рыночную зону n с использованием способа транспортировки $t \in T(m, n)$; [выбранная денежная единица/единица p].

TR_i = Ставка налога на прибыль в стране внутреннего поставщика $i \in I'$; [параметр не имеет размерности].

TR_j = Ставка налога на прибыль в стране $MP1 j$; [параметр не имеет размерности].

TR_k = Ставка налога на прибыль в стране $DC1 k$; [параметр не имеет размерности].

TR_l = Ставка налога на прибыль в стране $MP2 l$; [параметр не имеет размерности].

TR_m = Ставка налога на прибыль в стране $DC2 m$; [параметр не имеет размерности].

$\underline{T}_{ir}, \overline{T}_{ir}$ = Нижняя и верхняя границы трансфертных цен единицы сырья $r \in R(i)$, отгруженного внутренним поставщиком $i \in I'$ на любой $MP1$ в $J(i)$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица r].

$\underline{T}_{js}, \overline{T}_{js}$ = Нижняя и верхняя границы трансфертных цен единицы полуфабрикатов $s \in S(j)$, отгруженной с $MP1 j$ на любой $DC1 k$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица s].

$\underline{T}_{ks}, \overline{T}_{ks}$ = Нижняя и верхняя границы трансфертных цен единицы полуфабрикатов $s \in S(k)$, отгруженной с $DC1 k$ на любой $MP2 l$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица s].

$\underline{T}_{lp}, \overline{T}_{lp}$ = Нижняя и верхняя границы трансфертных цен единицы конечного продукта $p \in P(l)$, отгруженной с $MP2 l$ на любой $DC2 m$ без учёта НДС; [выбранная денежная единица/единица p].

Определение переменных:

1. Товарные потоки:

x_{ijtr} = количество сырья $r \in R(i) \cap R(j)$, отгруженного поставщиком $i \in I$ на $MP1$ $j \in J(i)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(i, j)$.

x_{jkts} = количество полуфабриката $s \in S(j) \cap S(k)$, отгруженного с $MP1$ $j \in J$ на $DC1$ $k \in K$ с использованием способа транспортировки $t \in T(j, k)$.

x_{klts} = количество полуфабриката $s \in S(k) \cap S(l)$, отгруженного с $DC1$ $k \in K$ на $MP2$ $l \in L$ с использованием способа транспортировки $t \in T(k, l)$.

x_{lmtp} = количество конечного продукта $p \in P(l) \cap P(m)$, отгруженного с $MP2$ $l \in L$ на $DC2$ $m \in M$ с использованием способа транспортировки $t \in T(l, m)$.

x_{mntp} = количество конечного продукта $p \in P(m)$, отгруженного с $DC2$ $m \in M$ в рыночную зону $n \in N(m)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(m, n)$.

f_{ijr} = общее количество сырья $r \in R(i) \cap R(j)$, отгруженного поставщиком $i \in I$ на $MP1$ $j \in J(i)$.

f_{jks} = общее количество полуфабриката $s \in S(j) \cap S(k)$, отгруженного $MP1$ $j \in J$ на $DC1$ $k \in K$.

f_{kls} = общее количество полуфабриката $s \in S(k) \cap S(l)$, отгруженного $DC1$ $k \in K$ на $MP2$ $l \in L$.

f_{lmp} = общее количество конечного продукта $p \in P(l) \cap P(m)$, отгруженного $MP2$ $l \in L$ на DC $m \in M$.

f_{mnp} = общее количество конечного продукта $p \in P(m)$, отгруженного с $DC2$ $m \in M$ в рыночную зону n .

2. Трансфертные цены:

tp_{ir} = трансфертная цена без НДС сырья $r \in R(i)$, отгруженного внутренним поставщиком $i \in I'$.

tp_{js} = трансфертная цена без НДС полуфабриката $s \in S(j)$, отгруженного с $MP1$ $j \in J$.

tp_{ks} = трансфертная цена без НДС полуфабриката $s \in S(k)$, отгруженного с $DC1$ $k \in K$.

tp_{lp} = трансфертная цена без НДС конечного продукта $p \in P(j)$, отгруженного с $MP2$ $l \in L$.

3. Распределение транспортных затрат:

y_{ijt} = величина затрат на транспортировку без НДС между поставщиком $i \in I'$ и $MP1$ $j \in J(i)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(i, j)$, распределенная на поставщика i .

y'_{ijt} = величина затрат на транспортировку без НДС между поставщиком $i \in I'$ и $MP1$ $j \in J(i)$ с использованием способа транспортировки $t \in T(i, j)$, распределённая на $MP1$ j .

y_{jkt} = величина затрат на транспортировку без НДС между $MP1$ $j \in J$ и $DC1$ $k \in K$ с использованием способа транспортировки $t \in T(j, k)$, распределённая на $MP1$ j .

y'_{jkt} = величина затрат на транспортировку без НДС между $MP1$ $j \in J$ и $DC1$ $k \in K$ с использованием способа транспортировки $t \in T(j, k)$, распределённая на $DC1$ k .

y_{klt} = величина затрат на транспортировку без НДС между $DC1$ $k \in K$ и $MP2$ $l \in L$ с использованием способа транспортировки $t \in T(k, l)$, распределённая на $DC1$ k .

y'_{klt} = величина затрат на транспортировку без НДС между $DC1$ $k \in K$ и $MP2$ $l \in L$ с использованием способа транспортировки $t \in T(k, l)$, распределённая на $MP2$ l .

y_{lmt} = величина затрат на транспортировку без НДС между $MP2$ $l \in L$ и $DC2$ $m \in M$ с использованием способа транспортировки $t \in T(l, m)$, распределённая на $MP2$ l .

y'_{lmt} = величина затрат на транспортировку без НДС между $MP2$ $l \in L$ и $DC2$ $m \in M$ с использованием способа транспортировки $t \in T(l, m)$, распределённая на $DC2$ m .

4. Чистый доход до налогообложения дочерних компаний:

z_i^+ = прибыль до налогообложения внутреннего поставщика $i \in I'$.

z_i^- = убыток до налогообложения внутреннего поставщика $i \in I'$.

z_j^+ = прибыль до налогообложения $MP1$ $j \in J$.

z_j^- = убыток до налогообложения $MP1$ $j \in J$.

z_k^+ = прибыль до налогообложения $DC1$ $k \in K$.

z_k^- = убыток до налогообложения $DC1$ $k \in K$.

z_l^+ = прибыль до налогообложения $MP2$ $l \in L$.

z_l^- = убыток до налогообложения $MP2$ $l \in L$.

z_m^+ = прибыль до налогообложения $DC2$ $m \in M$.

z_m^- = убыток до налогообложения $DC2$ $m \in M$.

Целевая функция:

Максимизировать $S(x_{ijtr}, x_{jkts}, x_{klts}, x_{lmtp}, x_{mntp}, f_{ijr}, f_{jks}, f_{kls}, f_{lmp}, f_{mnp}, tp_{ir}, tp_{js}, tp_{ks}, tp_{lp},$

$y_{ijt}, y'_{ijt}, y_{jkt}, y'_{jkt}, y_{klt}, y'_{klt}, y_{lmt}, y'_{lmt}, z_i^+, z_i^-, z_j^+, z_j^-, z_k^+, z_k^-, z_l^+, z_l^-, z_m^+, z_m^-) =$

$$\sum_{i \in I} [(1 - TR_i)z_i^+ - z_i^-] + \sum_{j \in J} [(1 - TR_j)z_j^+ - z_j^-] + \sum_{k \in K} [(1 - TR_k)z_k^+ - z_k^-] + \\ \sum_{l \in L} [(1 - TR_l)z_l^+ - z_l^-] + \sum_{m \in M} [(1 - TR_m)z_m^+ - z_m^-]$$

Ограничения:

Сумма товарных потоков по способам транспортировки:

$$f_{ijr} = \sum_{t \in T(i,j)} x_{ijtr} \quad \forall i \in I, j \in J(i), r \in R(i) \cap R(j) \\ f_{jks} = \sum_{t \in T(j,k)} x_{jkts} \quad \forall j \in J, k \in K(j), s \in S(j) \cap S(k) \\ f_{kls} = \sum_{t \in T(j,k)} x_{klts} \quad \forall k \in K, l \in L(k), s \in S(k) \cap S(l) \\ f_{lmp} = \sum_{t \in T(l,m)} x_{lntp} \quad \forall l \in L, m \in M(l), p \in P(l) \cap P(m) \\ f_{mnp} = \sum_{t \in T(m,n)} x_{mntp} \quad \forall m \in M, n \in N(m), p \in P(m)$$

Чистый доход до налогообложения внутренних поставщиков:

$$\sum_{j \in J(i)} \sum_{r \in R(i) \cap R(j)} ((1 - ER_{ijr})tp_{ir} - PC_{ir} - ET_{ir}) f_{ijr} - \sum_{j \in J(i)} \sum_{t \in T(i,j)} \sum_{r \in R(i) \cap R(j)} SC_{ijtr} IC_{ijtr} x_{ijtr} - \\ \sum_{j \in J(i)} \sum_{t \in T(i,j)} y_{ijt} - FC_i = z_i^+ - z_i^-, \\ i \in I^c.$$

Чистый доход до налогообложения *MP1*, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF:

$$\sum_{k \in K(j)} \sum_{s \in S(j)} ((1 - ER_{jks})tp_{js} - PC_{js}) f_{jks} - \sum_{k \in K(j)} \sum_{t \in T(j,k)} \sum_{s \in S(j)} SC_{jkts} IC_{jkts} x_{jkts} - \sum_{k \in K(j)} \sum_{t \in T(j,k)} y_{jkt} - \\ \sum_{i \in I^c(j)} \sum_{t \in T(i,j)} y'_{ijt} - \sum_{i \in I^c(j)} \sum_{r \in R(i) \cap R(j)} (1 + DR_{ijr})tp_{ir} f_{ijr} - \sum_{i \in I^c(j)} \sum_{t \in T(i,j)} \sum_{r \in R(i) \cap R(j)} DR_{ijr} TC_{ijtr} x_{ijtr} - \\ \sum_{i \in I^c(j)} \sum_{t \in T(i,j)} \sum_{r \in R(i) \cap R(j)} BC_{ijtr} (1 + DR_{ijr}) x_{ijtr} - FC_j = z_j^+ - z_j^-, \\ j \in J^c$$

Чистый доход до налогообложения *DC1*, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF:

$$\sum_{l \in L(k)} \sum_{s \in S(k)} ((1 - ER_{kls})tp_{ks} - HC_{ks}) f_{kls} - \sum_{l \in L(k)} \sum_{t \in T(k,l)} \sum_{s \in S(k)} SC_{klts} IC_{klts} x_{klts} - \sum_{j \in J(k)} \sum_{s \in S(j)} (1 + DR_{jks})ts_{js} f_{jks} - \\ \sum_{j \in J(k)} \sum_{t \in T(j,k)} \sum_{s \in S(j)} DR_{jks} TC_{jkts} x_{jkts} - \sum_{l \in L(k)} \sum_{t \in T(k,l)} y_{klt} - \sum_{j \in J(k)} \sum_{t \in T(j,k)} y'_{jkt} - FC_k = z_k^+ - z_k^-, \\ k \in K^c$$

Чистый доход до налогообложения *MP2*, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF:

$$\sum_{m \in M(l)} \sum_{p \in P(l)} ((1 - ER_{lmp})tp_{lp} - PC_{lp}) f_{lmp} - \sum_{m \in M(l)} \sum_{t \in T(l,m)} \sum_{p \in P(l)} SC_{lntp} IC_{lntp} x_{lntp} - \sum_{m \in M(l)} \sum_{t \in T(l,m)} y_{lmt} - \\ \sum_{k \in K(l)} \sum_{t \in T(k,l)} y'_{klt} - \sum_{k \in K(l)} \sum_{s \in S(k) \cap S(l)} (1 + DR_{kls})tp_{ks} f_{kls} - \sum_{k \in K(l)} \sum_{t \in T(k,l)} \sum_{s \in S(k) \cap S(l)} DR_{kls} TC_{klts} x_{klts} - FC_l = z_l^+ - z_l^-, \\ l \in L^c$$

Чистый доход до налогообложения *DC2*, расположенных в странах, где импортные пошлины взимаются на основе цены контрактов CIF:

$$\sum_{n \in N(m)} \sum_{p \in P(m)} ((1 - ER_{mnp})SP_{np} - HC_{mp}) f_{mnp} - \sum_{n \in N(m)} \sum_{t \in T(m,n)} \sum_{p \in P(m)} (TC_{mntp} + SC_{mntp} IC_{mntp}) x_{mntp} - \\ \sum_{l \in L(m)} \sum_{p \in P(l)} (1 + DR_{lmp})tp_{lp} f_{lmp} - \sum_{l \in L(m)} \sum_{t \in T(l,m)} \sum_{p \in P(l)} DR_{lmp} TC_{lntp} x_{lntp} - \sum_{l \in L(m)} \sum_{t \in T(l,m)} y'_{lmt} - FC_m = z_m^+ - z_m^-,$$

$$m \in M^c$$

Распределение затрат на транспортировку:

$$\begin{aligned} y_{ijt} + y'_{ijt} &= \sum_{r \in R(i) \cap R(j)} TC_{ijtr} x_{ijtr}, \quad i \in I', j \in J(i), t \in T(i, j), \\ y_{jkt} + y'_{jkt} &= \sum_{s \in S(j)} TC_{jkts} x_{jkts}, \quad j \in J, k \in K(j), t \in T(j, k), \\ y_{klt} + y'_{klt} &= \sum_{s \in S(k)} TC_{klts} x_{klts}, \quad k \in K(l), l \in L(k), t \in T(k, l), \\ y_{lmt} + y'_{lmt} &= \sum_{p \in P(l)} TC_{lmtp} x_{lmtp}, \quad l \in L, m \in M(l), t \in T(l, m), \end{aligned}$$

Производственные мощности поставщиков S:

$$\sum_{j \in J(i)} \sum_{t \in T(i, j)} \sum_{r \in R(i) \cap R(j)} A_{ir} x_{ijtr} \leq CS_i, \quad i \in I.$$

Производственные мощности MP1:

$$\sum_{k \in K(j)} \sum_{t \in T(j, k)} \sum_{s \in S(j)} B_{js} x_{jkts} \leq CP1_j, \quad j \in J.$$

Производственные мощности MP2:

$$\sum_{m \in M(l)} \sum_{t \in T(l, m)} \sum_{p \in P(l)} C_{lp} x_{lmtp} \leq CP2_l, \quad l \in L.$$

Мощности по приёму и отгрузке DC1:

$$\sum_{l \in L(k)} \sum_{t \in T(k, l)} \sum_{s \in S(k)} D_{ks} x_{klts} \leq CD1_k, \quad k \in K.$$

Мощности по приёму и отгрузке DC2:

$$\sum_{n \in N(m)} \sum_{t \in T(m, n)} \sum_{p \in P(m)} E_{mp} x_{mntp} \leq CD2_m, \quad m \in M.$$

Заявки потребителей (C):

$$\sum_{m \in M(n)} \sum_{t \in T(m, n)} x_{mntp} \leq DEM_{np}, \quad n \in N, p \in P$$

Совокупность спецификаций на всех MP1:

$$\sum_{k \in K(j)} \sum_{t \in T(j, k)} \sum_{s \in S(j)} Q_{jrs} x_{jkts} = \sum_{i \in I'(j) \cup I''(j)} \sum_{t \in T(i, j)} x_{ijtr}, \quad j \in J, r \in R(j).$$

Совокупность спецификаций на всех MP2:

$$\sum_{m \in M(l)} \sum_{t \in T(l, m)} \sum_{p \in P(l)} Q_{lsp} x_{lmtp} = \sum_{k \in K(l)} \sum_{t \in T(k, l)} x_{klts}, \quad l \in L, s \in S(l).$$

Уравнение сохранение потока на DC1:

$$\sum_{j \in J(s)} \sum_{t \in T(j, k)} x_{jkts} = \sum_{l \in L(k)} \sum_{t \in T(k, l)} x_{klts}, \quad k \in K, s \in S.$$

Уравнение сохранение потока на DC2:

$$\sum_{l \in L(p)} \sum_{t \in T(l, m)} x_{lmtp} = \sum_{n \in N(m)} \sum_{t \in T(m, n)} x_{mntp}, \quad m \in M, p \in P.$$

Ограничения на трансфертные цены:

$$\begin{aligned} \underline{T}_{ir} &\leq tp_{ir} \leq \overline{T}_{ir}, \quad i \in I', r \in R(i), \\ \underline{T}_{js} &\leq tp_{js} \leq \overline{T}_{js}, \quad j \in J, s \in S(j), \\ \underline{T}_{ks} &\leq tp_{ks} \leq \overline{T}_{ks}, \quad k \in K, s \in S(k), \\ \underline{T}_{lp} &\leq tp_{lp} \leq \overline{T}_{lp}, \quad l \in L, p \in P(l). \end{aligned}$$

Ограничения на не отрицательность:

$$\begin{aligned} x_{ijtr} &\geq 0, \quad i \in I, j \in J(i), t \in T(i, j), r \in R(i) \cap R(j), \\ x_{jkts} &\geq 0, \quad j \in J, k \in K(j), t \in T(j, k), s \in S(j) \cap S(k), \\ x_{klts} &\geq 0, \quad k \in K, l \in L(k), t \in T(k, l), s \in S(k) \cap S(l), \\ x_{lmtp} &\geq 0, \quad l \in L, m \in M(l), t \in T(l, m), p \in P(l) \cap P(m), \\ x_{mntp} &\geq 0, \quad m \in M, n \in N(m), t \in T(m, n), p \in P(m), \\ f_{ijr} &\geq 0, \quad i \in I, j \in J(i), r \in R(i) \cap R(j), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{jks} &\geq 0, & j \in J, k \in K(j), s \in S(j) \cap S(k), \\
 f_{kls} &\geq 0, & k \in K, l \in L(k), s \in S(k) \cap S(l), \\
 f_{lmp} &\geq 0, & l \in L, m \in M(l), p \in P(l) \cap P(m), \\
 f_{mnp} &\geq 0, & m \in M, n \in N(m), p \in P(m), \\
 y_{ijt}, y'_{ijt} &\geq 0, & i \in I', j \in J(i), t \in T(i, j), \\
 y_{jkt}, y'_{jkt} &\geq 0, & j \in J, k \in K(j), t \in T(j, k), \\
 y_{klt}, y'_{klt} &\geq 0, & k \in K(l), l \in L(k), t \in T(k, l), \\
 y_{lmt}, y'_{lmt} &\geq 0, & l \in L, m \in M(l), t \in T(l, m), \\
 z_i^+, z_i^- &\geq 0, & i \in I', \\
 z_j^+, z_j^- &\geq 0, & j \in J, \\
 z_k^+, z_k^- &\geq 0, & k \in K, \\
 z_l^+, z_l^- &\geq 0, & l \in L, \\
 z_m^+, z_m^- &\geq 0, & m \in M.
 \end{aligned}$$

3. Заключение

Обсуждение представленной модели со специалистами по трансфертным ценам, по планированию производства и по логистике в крупных мультинациональных компаниях, где эта модель может быть внедрена, показало, что для отдельных компаний сформулированные перед описанием модели условия её применения могут не соответствовать сложившейся практике. В частности:

- В зависимости от места регистрации головной компании в некоторых странах не выполняется условие 4, головная компания по законодательству должна платить налоги на прибыль, перечисляемую из дочерних компаний.
- Вместо условия 5, согласно которому размер прибыли дочерних компаний никак не регламентируется, в некоторых странах законодательно установлены ограничения, по которым если прибыль меньше некоторого зафиксированного процента, на компанию накладываются штрафы.
- Условие 7, согласно которому найденный оптимальный план производства и транспортировки не обязательно будет удовлетворять все позиции плана продаж и все заявки клиентов, иногда является недостаточно жёстким. В ряде случаев надо обеспечить обязательное удовлетворение всех подписанных контрактов и твёрдых обещаний по поставкам.
- Условие 9, согласно которому трансфертные цены на один и тот же продукт (полуфабрикат, сырьё) устанавливаются одинаковыми для конкретной дочерней компании независимо от того, кому она производит поставки, в некоторых случаях является излишне жёстким. На практике, мультинациональные компании могут согласовывать с налоговыми органами несколько значений трансфертной цены на один и тот же продукт при его отпуске на разные рынки, например, на рынок Латинской Америки и на азиатско-тихоокеанский рынок.
- В некоторых странах нарушается условие 10, импортные налоговые пошлины, которые платятся импортёрами, базируются на стоимости импортируемых товаров по контрактам FOB.
- В некоторых компаниях применяются более сложные экономические модели, чем предусмотренная в условии 12, переменные затраты на производство и транспортировку в узлах логистической цепочки описываются линейной функцией с изломами в отдельных точках величины товаропотока.
- Для отдельных видов товаров нарушается условие 13, в частности, нефтепродукты, газ, многие химические продукты имеют нормативы на естественную убыль в процессе перевалки, транспортировки и хранения. Эти нормативы зависят от применяемых способов транспортировки, перевалки и хранения и, следовательно, могут быть индивидуальными для отдельных транспортных маршрутов и складов.
- Для многих товаров, в частности, пищевых продуктов и продукции фармацевтической промышленности, устанавливаются сроки годности, что при моделировании на длительные периоды ведёт к нарушению условия 14.

Также возможны другие требования по адаптации предложенной модели из-за имеющихся особенностей налогообложения в разных странах. Например:

- в связи с применением локальных законодательств правил происхождения продуктов, импортные пошлины на одну и ту же продукцию одного и того же завода могут быть различными в связи с тем, что эта продукция производилась из разного сырья;

- могут применяться локальные правила возврата импортной пошлины.

По аналогии с особенностями налогообложения в отдельных юрисдикциях, в отдельных компаниях и отраслях могут существовать особенности логистической схемы, которые требуют адаптации предложенной модели. Например:

- необходимость возврата и утилизации товаров, отработавших свой ресурс, как это делается во многих странах для автопокрышек и аккумуляторов;
- необходимость обеспечить логистику возвратов продукции, от которой после покупки отказались потребители, в случае товаров массового спроса.

Кроме того, в ходе работы с разными клиентами мы столкнулись со следующими случаями, когда необходимо дальнейшее развитие модели, представленной в данной статье:

- имеются предприятия, у которых производство строится комбинированным образом: часть конечных продуктов выпускается по однопеределной схеме, а часть по двухпеределной;
- в компаниях чёрной металлургии используется три передела (производство чугуна, производство стали, производство проката). В газохимии встречается ещё большее число переделов.

Помимо всех перечисленных ситуаций, в процессе взаимодействия с клиентами возникали запросы и пожелания с их стороны, сводившиеся к тому, чтобы совместить стратегическое и оперативное планирование. Это позволит учитывать в рамках комплексной задачи оптимизации скорость прохождения товаров по отдельным маршрутам и их цепочкам, а также прогнозы спроса и цен на разных рынках в разные периоды. Такой подход существенно повысит эффективность оптимизируемых процессов производства и логистики в компании. Подобная идея совмещения была предложена для однопеределного производства в [8]. В этом случае задача становится динамической и из обычной задачи оптимизации превращается в задачу оптимального управления. При этом подходе нарушается основополагающее условие 2, в задаче появляется несколько периодов времени. Кроме того, при переходе к оперативному планированию часто возникает необходимость расширить условие 3 об однонаправленности товарных потоков, поскольку из-за несовпадения запланированного и фактического спроса может возникать целесообразность перемещать товарные запасы между распределительными центрами.

Все перечисленные выше ситуации могут быть тем или иным способом отражены в модели оптимизации внутренних цепочек поставок. Однако наличие большого числа возможных отклонений от стандартной модели приводит к тому, что, фактически, для каждой мультинациональной компании модель должна строиться индивидуально. Наши дальнейшие усилия будут направлены на создание каталога вариантов моделей, учитывающих выявленные потребности реальных компаний. На основе такого каталога впоследствии может быть выполнена разработка программного комплекса для автоматизированного построения моделей.

Список литературы

1. КАНТОРОВИЧ Л. В., ГАБУРИН М. К. *Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков.* — В кн. «Проблемы повышения эффективности работы транспорта», М., Изд-во АН СССР, 1949, С. 110-138
2. СУХОБОКОВ А. А. Исследование и разработка моделей и архитектуры средств контроллинга для межрегиональных предприятий в составе систем класса ERP II: дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук, М.: МГТУ им. Баумана, 2009, 196 с.
3. Arntzen B. C., Brown G. G., Harrison T. P., Trafton L. L. Global supply chain management at digital equipment corporation. *Interfaces* 25 (1), 1995, pp. 69-93.
4. Baumol W. J., Fabian T. Decomposition, Pricing for Decentralization and External Economies // *Management Science*. September 1964. Vol. 11. No. 1. pp. 1-32.
5. Cohen, M. A., Fisher, M., Jaikumar, R. International manufacturing and distribution networks: A normative model framework / In: Ferdows, K. (Ed.), *Managing International Manufacturing*. North-Holland. Amsterdam, 1989, pp. 67-93.
6. Cohen M. A., Lee H. L. Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks. *Journal of Manufacturing Operations Management* 2, 1989, pp. 81-104.
7. Goetschalckx M., Vidal C. J., Hernández J. I. Measuring the impact of transfer pricing on the configuration and profit of an international supply chain: perspectives from two real cases. *Congreso Latino-Iberoamericano de Investigacion Operativa, Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, Brazil, September 24-28, 2012, pp. 1659-1669.
8. Miller T., de Matta R. A global supply chain profit maximization and transfer pricing model. *Journal of Business Logistics* 29(1):175–199, 2008.
9. Nieckels L. *Transfer Pricing in Multinational Firms: A Heuristic Programming Approach and a Case Study*. New York: John Wiley, 1976. 202 p.

10. Perron S., Hansen P., Le Digabel S., Mladenovic N. Transfer Pricing in a Global Supply Chain // GERAD, G-2008-17, February 2008, 31 p.
11. Vidal C. J., Goetschalckx M. A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation // European Journal of Operational Research. 2001. No. 129. pp. 134-158.

Mathematical model for the optimization of internal supply chain of multinational companies with two-stage production

Artem A. Sukhobokov, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Ph.D., assistant professor (artem.sukhobokov@yandex.ru)

Ilya V. Tikhonov, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Bachelor of Science, student (ilya.tikxonov@optimalmngmnt.com)

Abstract: Article presents the history of the development of mathematical models for integrated optimization of internal supply chains of multinational companies. It is shown that the main direction of development is quadratic models in which variables are flows of goods between the subsidiaries and the transfer prices. Basing on the previously developed model for companies with one-stage production, the mathematical formulation of the model for companies with two-stage production was developed. For this model the conditions of its application were defined and a set of practical situations was considered when these conditions are disturbed, and the model should be adapted to the specifics of the current multinational company.

Keywords: optimization of internal supply chains, multinational company, two-stage production, transfer prices, profit after tax.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии*

*Поступила в редакцию ...
Опубликована ...*