



**СОЛОДОВНИКОВ В.В.**

**Методология интегрированного планирования  
цепей поставок промышленных предприятий  
(на примере комплексов черной металлургии)**



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

**СОЛОДОВНИКОВ В.В.**

**Методология интегрированного планирования  
цепей поставок промышленных предприятий  
(на примере комплексов черной металлургии)**

**Москва  
2017**

УДК 656/338.2

ББК 65.4

С60

***Рецензенты:***

СЕРГЕЕВ В.И., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление цепями поставок» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

УВАРОВ С.А., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Торговое дело и товароведение» Санкт-Петербургского государственного экономического университета.

**Солодовников В.В.**

**С60** Методология интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий (на примере комплексов черной металлургии). – М.: ОАО «ИТКОР», 2017. – 334с.

ISBN 978-5-00082-045-2

**Аннотация**

В монографии изложены основные положения отраслевой практической методологии интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий (на примере комплексов черной металлургии). Исследование является синергией, основанной на сочетании фундаментальных разработок отечественных и зарубежных ученых в области логистики и управления цепями поставок с практическим опытом создания и внедрения комплексных решений по планированию нового поколения.

Монография предназначена как для научных работников, преподавателей, студентов, слушателей магистратуры, так и для специалистов по логистике и управлению цепями поставок, маркетингу, менеджменту, производству, продажам.

УДК 656/338.2

ББК 65.4

ISBN 978-5-00082-045-2

© ОАО «ИТКОР», 2017

© НИУ «Высшая школа экономики»,  
Солодовников В.В., 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА I. ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....	12
1.1. Эволюция цепей поставок предприятий черной металлургии.....	12
1.2. Исследование основных конфигураций цепей поставок рассматриваемых предприятий.....	15
1.3. Специфика планирования цепей поставок предприятий черной металлургии .....	19
1.4. Современное состояние и проблемы методологии планирования цепей поставок.....	28
1.5. Анализ ключевых вызовов отрасли, областей улучшений и оценка экономических потерь.....	30
1.6. Постановка цели и задач исследования в разрезе совершенствования планирования .....	34
ГЛАВА II. РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.....	36
2.1. Определение требований к методологии планирования цепей поставок предприятий черной металлургии.....	36
2.2. Определение направления развития методологии планирования цепей поставок для металлургической отрасли.....	39
2.3. Методология интегрированного планирования цепей поставок металлургических предприятий.....	67
2.4. Совершенствование процесса прогнозирования спроса .....	70
2.5. Определение процессной модели конфигурирования цепи поставок.....	78
2.6. Совершенствование процессной модели тактического планирования цепи поставок.....	82
2.7. Развитие процесса управления обещаниями.....	88
2.8. Совершенствование процесса оперативного планирования цепи поставок и контроля исполнения.....	91
ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.....	97
3.1. Формализация метода и критериев определения уровня детализации объектов и материалов модели цепи поставок .....	97
3.2. Совершенствование метода прогнозирования спроса в цепях поставок металлургических компаний.....	102
3.3. Конфигурирование цепи поставок и тактическое планирование с использованием методов математического моделирования.....	109
3.4. Развитие методов оперативного планирования цепей поставок .....	121
3.5. Разработка алгоритма составления расписаний выплавки и разливки.....	125

3.6. Устойчивость и риски планов .....	138
<b>ГЛАВА IV. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССОВ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.....</b>	<b>141</b>
4.1. Исследование современного состояния информационной поддержки процессов интегрированного планирования .....	141
4.2. Разработка требований к информационной поддержке интегрированного планирования нового поколения .....	147
4.3. Определение характеристик систем интегрированного планирования нового поколения .....	152
4.4. Обзор рынка решений автоматизированного планирования цепей поставок для металлургической отрасли .....	158
4.5. Анализ внедрения автоматизированных систем планирования нового поколения в ряде российских и международных компаний .....	168
<b>ГЛАВА V. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОТРАСЛИ .....</b>	<b>172</b>
5.1. Оценка экономической эффективности внедрения методологии интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий .....	172
5.2. Тактическое планирование в ММК .....	176
5.3. Реорганизация системы управления трубной компании ОМК.....	186
5.4. Планирование спроса в компании «Северсталь» .....	210
5.5. Оперативное планирование цепи поставок у производителя специальных сталей TimkenSteel .....	219
5.6. Оперативное планирование цепи поставок Trinecke Zelezarny .....	250
5.7. Реорганизация системы управления POSCO .....	296
5.8. Конфигурирование цепи поставок в СУЭК.....	301
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>316</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>319</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является результатом исследования работ большого количества теоретиков и практиков в области управления цепями поставок (УЦП). Исследования проводились при поддержке многих организаций и научных центров, включая компании LOGIS, i2, НИУ Высшая школа экономики и многих других.

В связи с этим автор хотел бы выразить признательность в первую очередь председателю правления компании LOGIS Далибору Конвичке, идеи и помощь которого неоценимы. Также автор хотел бы поблагодарить эксперта в металлургической отрасли с 40-летним стажем Майкла Хилбрика, с которым ему довелось посетить многие ведущие российские и международные металлургические компании, и который всегда был для него источником вдохновения. Автор выражает свою признательность коллегам, с которыми работает или работал в компаниях LOGIS, i2, GMCS, CEO Consulting, Gloria Jeans. Также коллегам из компаний-заказчиков проектов по УЦП, которые согласились поделиться своим опытом и знаниями: Вильяму Брайану из TimkenSteel, Богуславу Сикоре из Trinecke Zelezarny, Андрею Анатольевичу Еремину и Владимиру Константиновичу Рузанкину из ММК, Олегу Евгеньевичу Осминкину из ОМК, Алексею Владимировичу Дмитроченкову из СУЭК, Павлу Геннадьевичу Ковальногову из Корпорации ВСМПО-АВИСМА и многим другим.

Отдельно автор хотел бы поблагодарить своего научного консультанта и рецензента, доктора экономических наук, ординарного профессора Виктора Ивановича Сергеева, который сыграл огромную роль в продолжении научной и преподавательской деятельности автора, а также в появлении настоящей работы. Автор благодарит за поддержку доктора экономических наук, ординарного профессора Валентину Владимировну Дыбскую, а также доктора экономических наук, профессора Сергея Алексеевича Уварова. Автор признателен своим наставникам по кандидатской и магистерской диссертациям

Валерию Петровичу Свечкареву и Валентине Николаевне Глухоедовой, которые направили его на научную стезю.

В заключение автор хотел бы выразить свою глубокую признательность родителям, которые всегда поддерживали и поощряли его научную деятельность. И, конечно же, автор должен выразить признательность и благодарность любимой жене, которая всегда была рядом и поддерживала в самые сложные моменты жизни.

## ВВЕДЕНИЕ

С точки зрения теории сложных систем цепь поставок современного предприятия является сложной для управления технико-экономической системой. В соответствии с теорией управления, теорией менеджмента, кибернетическим подходом, ключевым элементом эффективного процесса управления любой системой является функция планирования. Решение задач планирования цепей поставок требует использования научного аппарата системного анализа, главным образом применение широкого спектра методов моделирования.

Начиная с первой половины двадцатого века, отечественные и зарубежные ученые разрабатывают специализированные методы и технологии моделирования экономических систем. Указанные методы были успешно опробованы на практике и показали высокую эффективность. При этом следует отметить, что стремительное развитие компаний в двадцатом и двадцать первом веке, усложнение материальных, информационных и финансовых потоков в их цепях поставок привело к тому, что применение стандартных методов моделирования не всегда приводит к ожидаемым результатам или даже полностью не оправдывает себя. Основная причина связана с рядом недостатков стандартных подходов к моделированию, которые не позволяют им решать спектр задач в цепях поставок, обладающих специфическими характеристиками, к которым относится, в том числе, работа предприятия под заказ (мелкосерийное и единичное производство); уникальность технологических процессов; их масштаб и комплексность; сложность формализации технологических правил; волатильность и чувствительность к изменениям.

Необходимость решения этих проблем определяет актуальность проведения исследований в данной области.

Цель настоящего исследования состоит в развитии методологии интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий

(на примере комплексов черной металлургии). Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи:

1. Провести анализ особенностей рассматриваемых предприятий и состояния вопросов управления их логистическими процессами в условиях меняющейся внутренней и внешней конъюнктуры для определения требований к методологии их планирования.

2. Провести анализ современного состояния и перспектив развития теории и методологии логистики и управления цепями поставок. Выявить направления развития методологии планирования с точки зрения применения к особенностям планирования цепей поставок рассматриваемых предприятий.

3. Разработать процессные модели интегрированного планирования цепей поставок рассматриваемых предприятий на базе моделей SCOR и GSCF.

4. Уточнить методы и модели интегрированного планирования на основании исследования практического опыта внедрений систем планирования в России и в мире.

5. Провести анализ и определить современные требования к информационной поддержке интегрированного планирования, систематизировать опыт внедрений автоматизированных систем планирования цепей поставок (далее АСП ЦП) на предприятиях черной металлургии.

Предметом исследования является методология интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий.

Объектом исследования являются цепи поставок промышленных предприятий (на примере комплексов черной металлургии).

Научные исследования основаны на фундаментальных и прикладных разработках отечественных и зарубежных ученых в области экономической теории, теории управления, теории логистики и управления цепями поставок, методах математического моделирования, методологии моделирования бизнес-процессов, системного анализа, исследования операций и методов экспертных оценок.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Выявлена необходимость систематизации и развития методологии интегрированного планирования, определяющаяся потребностью ее применения для обеспечения конкурентоспособности российских металлургических компаний в условиях жесткой борьбы на мировом рынке.

2. Разработаны основные положения подхода к интегрированному планированию цепей поставок промышленных предприятий с учетом реорганизации связей существующих процессов планирования в соответствии с лучшими практиками в металлургии; консолидации моделей CCOR, SCOR и DCOR в единой системе процессов планирования цепей поставок; уточнения шагов процессов планирования и ввода дополнительных.

3. Разработаны следующие процессные модели интегрированного планирования цепей поставок предприятий черной металлургии: прогнозирование спроса; конфигурирование цепи поставок; тактическое планирование цепи поставок на основе интегрированной модели; управление обещаниями в части подтверждения даты отгрузки в процессе приемки заказов клиентов на основании актуальной модели цепи поставок промышленного предприятия, что позволяет повысить точность первоначальной даты обещания исполнения заказа; оперативное планирование на базе системы планирования нового поколения.

4. Формализован общий алгоритм прогнозирования на основании контроля исключительных ситуаций, который позволяет повысить качество планирования за счет сокращения рутинных операций, предоставления большего времени аналитикам для интеллектуальной работы.

5. Разработан метод и критерии определения уровня детализации объектов модели цепи поставок, позволяющие систематизировать процесс создания интегрированных моделей цепей поставок промышленных предприятий.

6. Определен алгоритм оптимальной балансировки спроса и предложения в цепях поставок промышленных предприятий на основе метода декомпозиции с применением послойной оптимизации, который позволяет резервировать

логистические мощности для приоритетных заказов и осуществлять оптимальное распределение оставшихся мощностей между другими заказами.

7. Разработан метод оперативного планирования на основе организации процесса независимого планирования различных этапов производства в параллельном режиме, позволяющий исключить ситуации непреднамеренного и невозвратимого удаления предложений разных планировщиков.

8. Формализованы основные положения алгоритма составления расписания выплавки и разливки на основе шести ключевых конкурирующих целей оптимизации, позволяющего повысить эффективность управления сталеплавильным производством.

9. Разработаны концепция многопользовательской системы планирования с распределенной рабочей областью, которые позволяют осуществлять систематическое разрешение возникающих конфликтных ситуаций между решениями планировщиков цепи поставок без потери какой-либо информации.

10. На основании сравнительного анализа инструментов информационной поддержки интегрированного планирования определены ключевые особенности, позволяющие классифицировать новое поколение систем интегрированного планирования, и предложено новое определение для этого класса систем.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается применением системного подхода, корректным использованием современного математического аппарата, проверкой на основе практических исследований.

Практическая значимость работы.

1. Предложенные в работе методологические подходы, методы, модели и алгоритмы способствуют разработке и принятию обоснованных и рациональных решений в управлении цепями поставок промышленных предприятий (на примере комплексов черной металлургии). Использование этих методов, моделей и алгоритмов в управлении позволяет в целом добиться

высокой конкурентоспособности предприятий благодаря повышению качества клиентского сервиса и эффективности логистических бизнес-процессов.

2. Методы интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий, реализованные в программно-математических инструментариях, внедрены в промышленную эксплуатацию на российских предприятиях ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ЗАО «Объединенная металлургическая компания», ОАО «Северсталь», ОАО «Мечел», ПАО «Корпорация ВСППО-АВИСМА», а также в международных компаниях TimkenSteel, Trinecke Zelezarny. Результаты исследования оформлены в виде технической документации и переданы вместе с созданными моделями для использования в соответствующие подразделения компаний.

3. Материалы исследования использованы в учебном процессе на факультете Бизнеса и Менеджмента, кафедры Управления Цепями Поставок НИУ ВШЭ для подготовки магистров и бакалавров по дисциплинам «Контроллинг логистических бизнес-процессов», «Интегрированное планирование в цепях поставок», «Стратегии в менеджменте: стратегическое планирование логистики и стратегии управления запасами»; а также в курсах МБА в школе логистики НИУ ВШЭ «Модели и методы прогнозирования в цепях поставок», «Контроллинг логистических бизнес-процессов».

# ГЛАВА I. ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

## 1.1. Эволюция цепей поставок предприятий черной металлургии

Металлургическая отрасль играет ключевую роль в мировой экономике. Эта отрасль отличается высокой стоимостью активов, масштабными производственными линиями и крупными объектами инфраструктуры [91]. Одной из ключевых целей металлургического бизнеса является эффективное использование этих дорогих активов.

Основная масса производства металлургической отрасли приходится на сталь (черная металлургия). Далее следует алюминий со значительно меньшими объемами производства и прочие металлы.

С географической точки зрения, по данным Всемирной ассоциации стали (World Steel Association, WSA) [57] в 2015 году: на Северную и Южную Америку пришлось 10% мирового производства стали; на регион EMEA – 21%, из них 4% – на долю России; на Азиатско-Тихоокеанский регион – 69%. Следует отметить гигантский скачек Китая, который нарастил производство стали на 64% с 2007 года, таким образом, став абсолютным мировым лидером, доля которого в мировом производстве стали превысила 50% .

За последние десятилетия цепи поставок ведущих предприятий черной металлургии прошли ряд трансформаций, которые коренным образом изменили требования к системе их управления. В рамках настоящей работы исследуется эволюция цепей поставок предприятий черной металлургии, анализируется их типовая структура, исследуются особенности планирования цепи поставок предприятия рассматриваемого класса. Приводится анализ ключевых вызовов для рассматриваемых предприятий на ближайшие годы, предлагаются направления проведения улучшений и соответствующие инструменты.

Развитие цепей поставок ведущих предприятий черной металлургии можно разделить на три этапа (рисунок 1). На первом этапе цепи поставок не выходили за «ареалы своего обитания» и были замкнуты на своих регионах. На втором этапе поставщики сырья уже выбирались на глобальном уровне при

сохранении региональной структуры производства и продаж. На третьем текущем этапе развития все ключевые функции продажи, производство и снабжение осуществляются на глобальном уровне.



***Рис. 1 – Развитие цепей поставок лидирующих предприятий черной металлургии***

Согласно с исследованиями КМРГ [117] современные металлургические компании фокусируются на повышении эффективности своих цепей поставок не только для эффективного управления рабочим капиталом, но также для обеспечения большей гибкости и оперативности реагирования на потребности клиентов.

Выбор в пользу клиентоориентированного подхода у производителей металла уже привело к сокращению некоторых традиционных дистрибьюторских организаций-посредников, что, в свою очередь, ведет к дальнейшей консолидации в отрасли. В исследовании подчеркивается, что в ближайшей перспективе не стоит ожидать значительных слияний и поглощений на мировом рынке металлов, за исключением Китая. Основная волна слияний и поглощений осталась в прошлом.

Вместо этого следует ожидать возрастания внимания к созданию и развитию партнерских отношений/созданию стратегических альянсов [117,12,17] между игроками и к совместным усилиям клиентов и производителей по стимулированию возможностей роста и инноваций.

Следует отметить, что альянсы достаточно широко используются зарубежными металлургическими компаниями черной металлургии. В качестве примеров создания успешных альянсов можно привести стратегическое партнерство таких ведущих зарубежных металлургических компаний как Nippon Steel и Arcelor [12,17,131], Nippon Steel и POSCO, ThyssenKrupp Steel и

JFE Steel. В российской черной металлургии эта практика не столь распространена. Из прошлых экспериментов можно отметить опыт создания совместного предприятия ЗАО «Севергал» и ООО «ТрефилАрбед Рус» в России компаниями «Северсталь» и Arcelor [17,64]. Этот альянс просуществовал с 2002 по 2007 год до момента, когда «Северсталь» полностью выкупила доли Arcelor в этих компаниях [110,63]. Стоит подчеркнуть, что «Северсталь» и Arcelor и вовсе чуть не объединили активы в 2006 году, но сделка сорвалась [62]. Сегодня эта упущенная возможность уже рассматривается как не столь выигрышная для российской стороны [56]. В конце 2006 года НЛМК и европейская компания Dufesco создали совместное предприятие Steel Invest&Finance с включением в его состав сталеплавильного и пять прокатных предприятий Dufesco с общим объемом производства готовой продукции 4,5 миллионов тонн [78, 92]. В 2011 году НЛМК выкупил долю компании Dufesco в Steel Invest&Finance [47]. В 2007 году один из ведущих мировых производителей труб компания ТМК и греческая фирма Corinth Pipeworks зарегистрировали совместное предприятие ЗАО «ТМК-CPW» в г. Полевской Свердловской области [97]. Стратегическое партнерство действует до сих пор.

В целом российские компании черной металлургии до недавнего времени предпочитали партнерским отношениям приобретение активов как на российском рынке, так и за рубежом. В качестве примеров можно привести создание производственных подразделений компаний Северстали, НЛМК, ТМК, Евраза в Северной Америке, Европейском союзе и в других регионах. Изменение конъюнктуры и возрастание геополитических рисков внесли коррективы в стратегию развития металлургических компаний. Так, Северсталь, Евраз и Мечел поспешили избавиться от части зарубежных активов даже с учетом существенных потерь [60]. Новая реальность требует от руководства компаний новых подходов к управлению их цепями поставок.

Приведенная в таблице 1 аналитика демонстрирует масштаб сдвига на глобальных рынках.

### Анализ изменений рыночной конъюнктуры

Факторы	Прошлое	Текущая ситуация/будущее
Рост мировой экономики	Значительный (~ 20%)	Низкий (~ 3,5%)
Геополитические риски	Средние	Значительные
Структура цепей поставок	Региональная /Фрагментированная	Глобальная/Вертикально и Горизонтально интегрированная
Вариативность спроса	Средняя	Значительные колебания
Риски по стоимости сырья и ценам на готовую продукцию	Средние	Значительные
Концентрация производства	Региональный /Уровень локальных производств	Глобальный/ Корпоративный уровень
Драйвер корпоративного роста	Слияния и поглощения	Сервис с добавленной ценностью / Вертикальная и Горизонтальная интеграция
Предложения продукта	Управляемое	Диверсифицированный /Широкий разнообразный ассортимент, включающий инновационную продукцию

Рассмотрим более подробно основные конфигурации цепей поставок и ведения бизнеса в отрасли.

### 1.2. Исследование основных конфигураций цепей поставок рассматриваемых предприятий

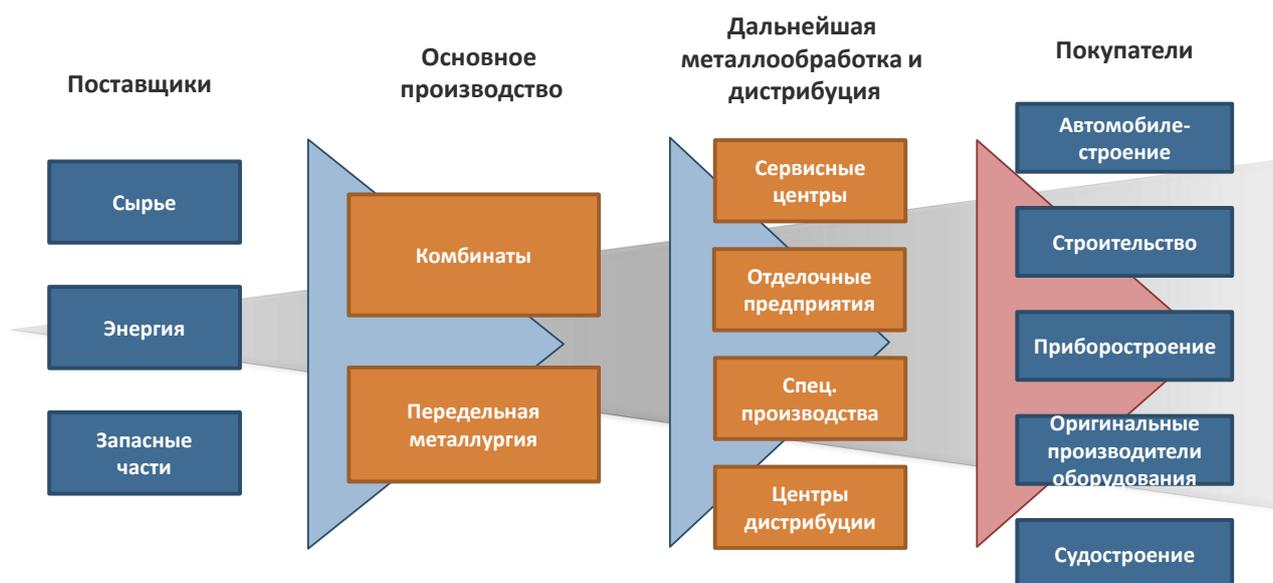


Рис. 2 – Цепочка создания ценности в черной металлургии

Цепочка создания ценности в черной металлургии начинается со снабжения, где необходимо отметить поставщиков сырья (железорудное сырье, коксующиеся угли, лом и т.д.), поставщиков энергии (черная металлургия является энергозатратной отраслью, особенно это относится к электросталеплавильным производствам), поставщиков оборудования и запасных частей к нему – машиностроительные предприятия (рисунок 2). Как правило, они же являются и главными покупателями продукции черной металлургии.

Основным типом предприятий чёрной металлургии являются предприятия полного металлургического цикла (в западной терминологии Integrated Steel Mills), которые выпускают чугун, углеродистую сталь и прокат. В России основным типом предприятий полного металлургического цикла являются комбинаты. Среди основных предприятий данного типа в России необходимо отметить: ЧерМК Северстали в Череповце, одноименный комбинат НЛМК в Липецке, одноименный комбинат ММК в Магнитогорске, НТМК и ЗСМК ЕВРАЗА в Нижнем Тагиле и Новокузнецке соответственно. В дополнение к металлургическому циклу комбинаты обычно интегрируют в себе производственные мощности по выпуску агломерата и кокса, а также мощности высоких переделов. В размещении комбинатов значительную роль играет сырьё и топливо, особенно важным фактором является сочетание железных руд и коксующихся углей.

Предприятия без выплавки чугуна относят к так называемой передельной металлургии. Передельная металлургия может быть представлена как, например, заводами с интегрированными участками выплавка стали – разливка – прокат (в западной терминологии Mini Mills, не путать с российским термином «Малая металлургия» – выпуск стали и проката на машиностроительных заводах, которая в настоящей статье не рассматривается), так и отдельными специализированными заводами, к примеру, по производству труб.

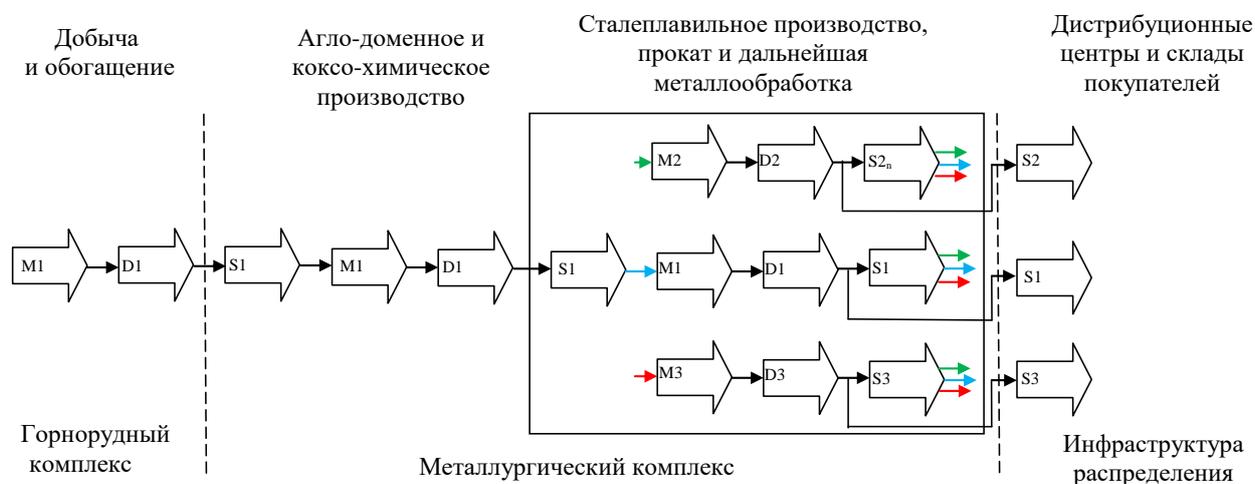
Сервисные металлургические центры производят специализированную продукцию из металлопроката для строительной, автомобильной, топливно-энергетической, машиностроительной, электротехнической и других отраслей.

Отделочные предприятия обычно располагаются рядом с основными производствами и занимаются конечной отделкой продукции комбинатов и предприятий передельной металлургии.

К специальным производствам можно отнести заводы, находящиеся на стыке черной металлургии и машиностроения, например, предприятия по выпуску шарикоподшипников, пружин и т. д.

Центры дистрибуции в основном исполняют роль накопителей металлопродукции и посредников в торговле металлопродукцией.

Обобщенная схема цепи поставок предприятий черной металлургии, включающая горнорудный комплекс и металлургический комплекс, приведена на рисунке 3. В качестве нотации использована модернизированная потоковая диаграмма SCOR [139,66,74,76].



**Рис. 3 – Схема цепи поставок типового комбината черной металлургии (потоковая диаграмма SCOR),**

где:

M1 – производство в запас;

M2 – производство под заказ;

M3 – проектирование и производство под заказ;

D1 – доставка материала, произведенного в запас;

D2 – доставка материала, произведенного под заказ;

D3 – доставка материала, спроектированного и произведенного под заказ;

S1 – снабжение материала, произведенного в запас;

S2 – снабжение материала, произведенного под заказ;

S3 – снабжение материала, спроектированного и произведенного под заказ.

В черной металлургии принято разделять логистические цепочки плоского проката, сортового проката, продукцию из нержавеющей и специальных марок сталей.

В основном производство осуществляется под заказ, в случае необходимости с разработкой соответствующей технологии. То есть производитель принимает заказ на производство стальной продукции на основании уникальной спецификации покупателя по согласованной цене с согласованными сроками отгрузки. При этом вполне распространена ситуация, когда в рамках одного полуфабриката, например, плавки стали, объединяется заказанный объем и объем, на который еще нет заказа, и который относится к материалу, произведенному в запас.

Типовой сортамент, который, как правило, составляет меньшую долю выпуска, производится в запас. Достаточно распространённой практикой, особенно для автомобилестроительной отрасли, в черной металлургии является применение технологии Управления запасами поставщиком (Vendor Managed Inventory, VMI). В этом случае поставщик контролирует уровень запасов своей готовой продукции на складах покупателя.

В завершении следует также отметить еще одну особенность цепей поставок предприятий черной металлургии – широкая география распределения их активов (при этом основное производство, как правило, консолидируется в одном месте). Отдельные элементы логистической инфраструктуры рассматриваемых предприятий могут находиться не только за тысячи километров друг от друга, но и находиться в разных странах, и даже на разных континентах. Физический масштаб металлургических производств определяет

необходимость в эффективном планировании и координации логистических потоков не только между отдельными предприятиями цепи поставок, но и внутри производства. Задача планирования логистических потоков в цепи поставок рассматриваемых предприятий усложняется наличием альтернативных маршрутов транспортировки, альтернативных видов транспорта (железнодорожный, автомобильный, речной, морской, авиационный).

### **1.3. Специфика планирования цепей поставок предприятий черной металлургии**

Отдельного описания стоит особая специфика планирования цепей поставок металлургических комплексов. Металлургические предприятия отличаются особой сложностью производственных процессов. Важнейшим этапом традиционно являются процессы выплавки и разливки, где осуществляется преобразование руды, лома и другого сырья в жидкую сталь и ее разливка в заготовки [118,13,51,98]. Полученные таким образом слябы, слитки и блюмы затем направляются на дальнейшие переделы по одному из множества возможных производственных маршрутов, где они проходят необходимые преобразования и приобретают требуемые потребителями характеристики.

Проведем более подробный сравнительный анализ характеристик металлургических производств с характеристиками типовых дискретных и процессных производств.

В таблице 2 представлена матрица, построенная на основе работ Хайеса и Вилрайта. Этапы производства расположены в определенном порядке по двум координатным осям, соответственно связанным со структурой продукции и с ее жизненным циклом и со структурой процесса и его жизненным циклом. По мере усложнения продукции и процесса промышленные предприятия движутся вдоль этих осей.

**Анализ этапов производства предприятий черной металлургии  
и их потребителей**

Процесс	Дискретный	Продукция			
		Специализированная	Низкие объемы	Высокие объемы	Общего назначения
Непрерывный		Аэрокосмическая промышленность			
		Промышленное оборудование			
		Механическое оборудование			
		Автомобилестроение			
		Обработка (термообработка, покрытия)			
		Сортовой прокат			
		Холодный прокат			
		Горячий прокат			
		Сталеплавильное производство			
		Агло- доменное и коксохимическое производство			

Традиционно процессные этапы производства сконцентрированы в правой части таблицы 2, ассоциирующейся с товарами общего назначения и цехами с непрерывным производственным процессом.

Как видно из представленной таблицы 2 предприятия черной металлургии имеют характеристики, свойственные как процессным, так и дискретным производствам.

Если представить схематично продуктовую цепочку металлургического производства, то она будет напоминать собой дерево. В основании будет находиться этап получения заготовок, крона дерева будет представлять собой всевозможные варианты преобразования этих заготовок в готовую продукцию.

Задачей ежедневного планирования является наиболее эффективное управление потоками материалов в этой логистической цепочке.

В каждый момент времени типичный металлургический завод имеет в наличии около десяти тысяч уникальных заказов клиентов и около пятидесяти тысяч уникальных позиций продукции на разных стадиях производства. Основная сложность заключается в умении синхронизировать потоки

материалов в логистической цепочке таким образом, чтобы минимизировать избыточные запасы, максимизировать загрузку ключевого оборудования и повысить дисциплину отгрузок заказов клиентов.

Существуют несколько фундаментальных факторов, которые усложняют эту задачу. Для эффективного управления логистическим циклом металлургических компаний очень важно учитывать следующие особенности цепей поставок предприятий рассматриваемого класса.

1. Единичное и/или мелкосерийное производство. Следует отметить, что в последнее десятилетие наметился тренд на усложнение металлургической продукции, ее индивидуализацию. Это приводит к значительному расширению качественного специализированного сортамента продукции в портфеле металлургических компаний.

2. Основное узкое место производства. Весь цикл металлургического производства определяется его основным этапом – преобразование исходного сырья в жидкий металл. Снабженческая часть производственной цепочки до этого этапа состоит из множества потоков сырья от различных поставщиков. Сырье, как правило, требует предварительной обработки или смешения для превращения его в готовую шихту. Жидкий металл, получаемый на первых этапах производства, до добавления к нему примесей и последующей физической обработки еще не соотносится с конкретными заказами потребителей. Производственная цепочка с момента получения жидкого металла распределяется на сотни и тысячи производственных маршрутов.

Такие особенности производства влекут за собой следующие два момента.

Во-первых, благодаря тому, что первичный жидкий металл не привязывается к конкретным заказам, закупки сырья традиционно планируются на основании предполагаемого объема основного производства без детального представления о конечном сортаменте производимой продукции.

Для металлургических компаний со значительным объемом электросталеплавильной продукции, для производителей специальных сталей и

нержавейки и, особенно, для производителей углеродистых сталей с высоким содержанием лома в шихте целесообразно осуществлять планирование закупок на основании детального понимания портфеля заказов. Для этих производителей важно, чтобы планирование потребностей в снабжении осуществлялось в рамках интегрированного процесса производственного планирования.

Во-вторых, из-за того, что логистическая цепочка значительно разветвляется после этапа выплавки и разливки, весь последующий план и расписание производства продукции определяется именно этим этапом. Таким образом, планы и расписание основного этапа производства являются основополагающими для составления планов и расписаний последующих этапов производства. Как только металл получен и отправлен на следующие этапы переработки, он уже находится внутри производственной цепочки. Если материал произведен слишком рано, он может пролеживать в виде сверхнормативных запасов. Если материал произведен позднее требуемой даты это будет значить ухудшение качества сервиса, срыв сроков поставки потребителям. Возможен третий вариант, когда произведенный продукт не подходит по качественным характеристикам потребителю. Такой продукт будет ожидать своего заказа, либо после определенного времени будет пущен на переплавку.

Указанная специфика позволяет сделать следующий вывод. Для металлургических производств, обладающих характеристиками как процессных, так и дискретных производств необходимо слияние тянущего и толкающего подходов планирования, при котором минимизируется объем незавершенного производства, а уровень загрузки узких мест максимален. Целью планирования оборудования, стоящего перед узким местом, является обеспечение непрерывного потока полуфабрикатов для максимальной загрузки узкого места.

3. Длительность производственного цикла. Длительность нахождения материала в производстве подразумевает под собой запасы незавершенной

продукции для компании. В то время, когда общее полезное время нахождения материала в производстве может составлять менее 4-х дней, включая три дня на участке отжига, совокупное время производственного цикла может составлять более 8 недель.

Существует много причин такой длительности производственного цикла, и некоторые из них действительно существенные. К примеру, планово-предупредительные и капитальные ремонты занимают достаточно продолжительное время на металлургических производствах: две-три недели или даже больше. В ходе таких ремонтов часть сортамента становится недоступной для производства. При этом спрос клиентов носит постоянный характер. Задачей планировщиков в этом случае становится обеспечение необходимого запаса продукции для обеспечения непрерывной своевременной отгрузки заказов.

Последствия длительного производственного цикла следующие: чем длительнее производственный цикл, тем больше финансовых средств компании заморожены в запасах, тем более удалено во времени узкое место производства от реального спроса и тем менее вероятно, что производство сбалансировано со спросом.

Покупатели при планировании своих закупок на достаточно длительном временном горизонте зачастую сами не могут предвидеть детальную спецификацию на требуемую продукцию. Поэтому часто они размещают предварительный заказ, а затем меняют его спецификацию по мере того, как их собственные потребности им видятся более четко. Другой вариант страхования потребителя перед неопределенностью в своих будущих потребностях это делегирование ответственности за поддержанием необходимого уровня запасов широкого сортамента продукции производителю. Таким образом, металлургические компании выступают в роли бесплатного склада, с которого потребители по мере необходимости и по мере прояснения своих потребностей осуществляют закупки.

4. Неопределенность металлургических процессов производства. Производство металлургической продукции базируется на требованиях к характеристикам конечной продукции и обычно осуществляется под заказ.

На каждом из этапов производства существует некая вероятность того, что на выходе будет получена продукция, не соответствующая заданным параметрам заказа. Для заказов, при производстве которых возникла такая продукция, производственный процесс должен стартовать с самого начала. При этом полученная несоответствующая продукция переходит в категорию запасов, ожидающих будущих клиентских заказов. Последствия неопределенности металлургических процессов в таком случае – избыточные запасы и изменение сроков исполнения заказа. Также следует отметить, что неопределенность физического процесса металлургического производства определяет необходимость в непрерывном процессе поиска и переназначения свободных материалов заказам.

В дополнение неопределенность физического процесса требует постоянного пересчета расписаний работы оборудования для поддержания их в актуальном состоянии. В каком-то смысле в металлургии нет проблем с составлением расписаний работы оборудования, основные проблемы связаны с необходимостью их постоянного пересчета.

Перебои и аварийные ситуации в работе оборудования могут привести к нежелательным и незапланированным простоям. Длительность простоев может составлять часы, дни или даже недели. Перебои и аварийные ситуации приводят к нарушению ритмичности производства, накоплению избыточных запасов, срывам сроков выполнения заказов клиентов и в конечном итоге оказывают значительное влияние на коэффициент использования оборудования.

Производительность оборудования и выход годного могут колебаться относительно среднего с течением времени. При этом в планировании используются, как правило, средние показатели. Колебания в характеристиках оборудования объясняются изменением сортамента производимой продукции, а

также вариативностью производственных процессов. Когда подобные колебания в параметрах возникают одновременно на десятках агрегатов, конечный результат может быть непредсказуем, но определенно он не будет положительным.

В связи с тем, что портфель заказов постоянно дополняется и изменяется, производственный план также должен обновляться на периодической основе с учетом текущей ситуации на производственных площадках.

5. Производственные кампании (Монтажности). Простой производственный цикл металлургического предприятия может включать в себя четыре или пять этапов. Более сложный цикл производства, к примеру, производство листа, может включать в себя до 9, 10 этапов в зависимости от требований к конечному продукту. Количество этапов у производителей специальных сталей может варьироваться от 30 до 40. Почти каждый этап в производственном цикле имеет свои кампании (монтажности). Кампании (монтажности) определяют последовательность обработки материалов со схожими характеристиками. Правила для составления производственных кампаний зачастую достаточно сложны и имеют значительные отличия друг от друга на каждом из этапов. Наличием производственных кампаний частично объясняются запасы незавершенной продукции на различных этапах производства. К примеру, если кампания повторяется лишь один раз в неделю, то в среднем заказ вынужден будет проводить неделю в ожидании дальнейшей обработки.

Для производственного планирования целесообразность в синхронизации последовательности и продолжительности кампаний (монтажности) на планируемом горизонте очевидна. Результатом такой синхронизации является максимально свободный и непрерывный поток заказов и связанных с ними материалов в цепи, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности загрузки ресурсов, снижению запасов незавершенного производства.

6. Необходимость синхронизации материальных потоков между различными участками производства с учетом имеющихся глобальных бизнес-целей. Большинство металлургических заводов представляет собой сложные производственные комплексы с десятками или даже сотнями агрегатов, расположенных на обширной территории. Как правило, для целей планирования такие комплексы разбиваются на ряд участков, за которые отвечают назначенные планировщики. Эти планировщики прекрасно разбираются в специфике своего участка и могут составить локальный оптимальный план и расписание производства. Однако синхронизировать планы участков, разработанные разными экспертами, и добиться оптимальных результатов с точки зрения всего производственного комплекса представляется очень сложной задачей.

7. Необходимость синхронизации производственного плана с детальными расписаниями работы оборудования еще один важный аспект планирования. Горизонт производственного планирования обычно определяется заказами клиентов и длительностью производственного цикла. В связи с большой длительностью производственного цикла металлургических производств, горизонт плана, как правило, составляет от 8 до 10 недель или даже больше, в зависимости от имеющегося портфеля заказов. Для ближайших нескольких дней, как правило, составляются более детальные расписания (последовательности) обработки материалов на производственном оборудовании. Правила для создания этих расписаний могут быть достаточно простыми, а могут быть крайне сложными, как это характерно для этапов производства выплавки и разлива, а также горячего проката. Для сложных этапов производств обычно применяют отдельные специализированные модули диспетчирования. В обоих случаях производственный план должен иметь возможность сохранять и своевременно обновлять информацию о более детальных расписаниях работы оборудования для ближайших нескольких дней. Производственный план также должен служить ориентиром для

планировщиков в части включения новых заказов при составлении более детальных расписаний работы оборудования.

8. Требования по снижению инерционности планирования цепей поставок. Анализ тенденций развития современных логистических технологий позволяет сделать вывод о том, что процесс управления деятельностью предприятий стремится в пределе к режиму реального времени. Рынок требует от цепей поставок промышленных предприятий максимального снижения инерционности, повышения их гибкости к требованиям клиентов [133,34,76,56]. Все это налагает новые требования к методологии планирования цепей поставок, а именно переходу от традиционного регламентированного планирования (один раз в календарный месяц, один раз в неделю) к концепции непрерывного планирования. Анализ передовых российских металлургических предприятий позволяет сделать вывод о том, что подобная концепция в той или иной мере уже применяется на практике, однако она до сих пор не формализована.

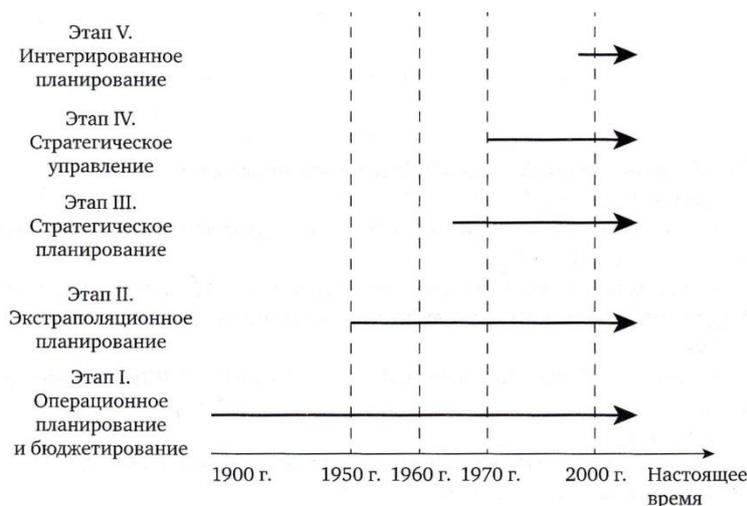
Подводя итог, суть проблемы планирования металлургических производств заключается в необходимости ежедневной борьбы за выполнение заказов с учетом постоянно изменяющихся внешних и внутренних условий. Указанная специфика цепей поставок предприятий черной металлургии требует особого методологического подхода к планированию.

Теоретические и методологические вопросы, связанные с проблематикой планирования сложных экономических систем, в том числе планирования цепей поставок, являлись предметом исследования в работах Бауэрсокса Д. и Клосса Д., Вебер М., Гаторны Дж., Голдрата Э., Данцига Д., Деминга У.Э., Кристофер М., Ламберта Д.М., Менцер Дж., Оливер К., Оно Т., Стадтлера Х. и Килгера К., Стока Дж., Таха Х., Уотерса Д., Шапиро Дж. и др. Существенный вклад в разработку теории и методологии планирования сложных экономических систем внесли труды отечественных ученых: Бережного В.И., Дикина И.И., Дыбской В.В., Иванова Д.А., Канторовича Л.В., Родова А.С., Крутянского Д.И., Пузановой И.А., Сергеева В.И., Шимко П.Д. и др. Несмотря

на достигнутые результаты, ряд методологических проблем, связанных с планированием цепей поставок промышленных предприятий, требуют проведения дальнейших исследований.

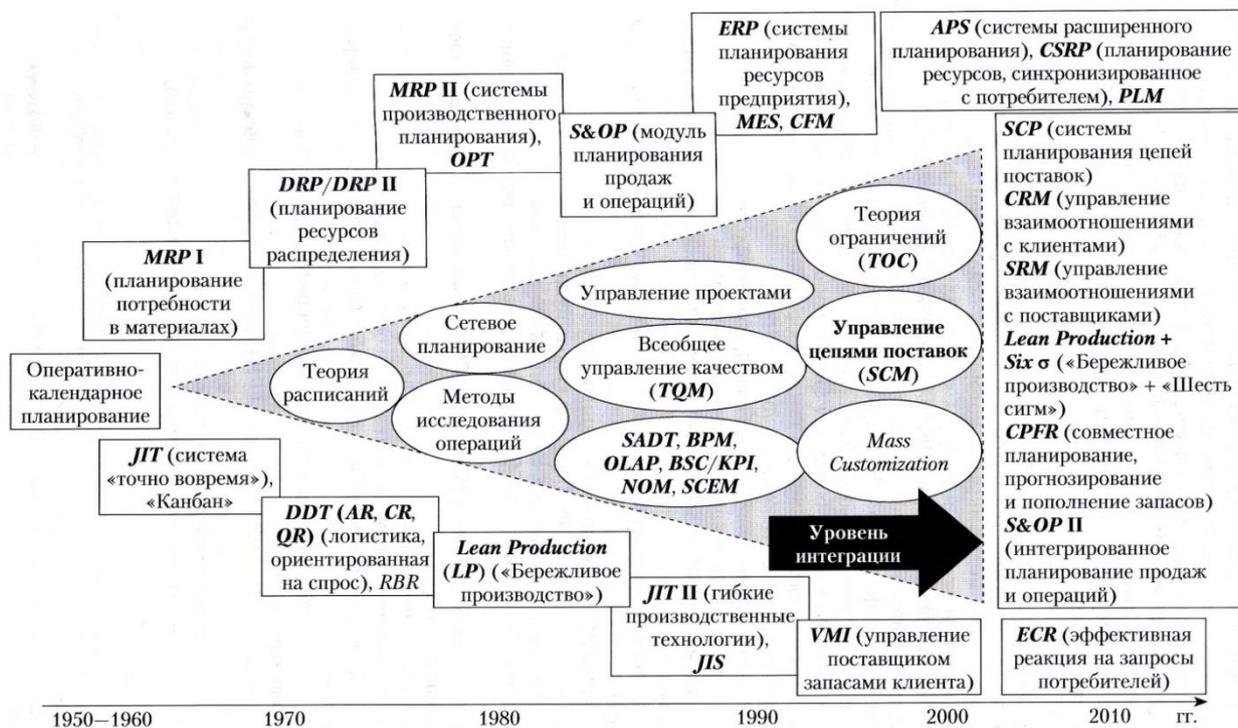
#### 1.4. Современное состояние и проблемы методологии планирования цепей поставок

Как отмечает Пузанова И.А. [58], основные этапы эволюции планирования (рисунок 4) совпадают с формированием пяти концепций, оказавших существенное влияние на развитие инструментария планирования предпринимательской деятельности и его роли в обеспечении эффективности функционирования предприятия. Этими концепциями являются: концепция массового производства, концепция маркетинга, концепция стратегического планирования, концепция контроллинга и концепция логистики (управления цепями поставок).



**Рис. 4 – Эволюция планирования предпринимательской деятельности**

Интегрированное планирование как часть методологии управления цепями поставок начало активно развиваться относительно недавно – в конце 1980-х [76,29,77]. Именно к этому времени относится очередной этап переосмысления логистики и появления новой концепции управления цепями поставок. На рисунке 5 приведен обзор эволюции приемов планирования логистических процессов из работы Дыбской В.В и Сергеева В.И. «Логистика» в 2-х частях. Часть 2: учебник для бакалавриата и магистратуры [24].



**Рис. 5 – Эволюция приемов планирования логистических процессов**

Как отмечает Сергеев В.И., впервые в отечественной практике образования системно изложившего теоретические, методические и практические аспекты управления цепями поставок (УЦП) в своем труде [76], УЦП является относительно новой идеологией бизнеса, базирующейся на интегральной парадигме, которое получило широкое признание среди ученых и специалистов.

Смирнова Е.А. отмечает [77], что одним из следствий относительной «молодости» логистики и УЦП является наличие различных национальных школ и течений в этой области. В настоящее время можно отметить американскую школу (Д. Бауэрсокс [3], Дж. Клосс, Д. Уотерс [99], Дж. Сток, Д. Ламберт [93] и др.); наличие серьезных исследований в различных европейских странах, в том числе Великобритании (М. Кристофер [39], Дж. Менцер, К. Оливер, М. Вебер [128,132] и др.), Германии (Г. Стадтлер, К. Килгер [135]); российскую школу (Дыбская В.В. [23,24], Сергеев В.И. [76,72,68], Иванов Д.А. [29], Пузанова И.А. [58], Гаджинский А.М. [19]). Представляют интерес исследования австралийских ученых, которых можно

отнести к азиатской логистической школе. Например, труды Джона Гатторны [100] специалиста мирового уровня в области логистики и УЦП из Австралии переведены на японский и китайский языки, и в настоящее время пользуются большим признанием в странах Азии.

Наличие большого количества школ, с одной стороны, стимулирует здоровую конкуренцию, но одновременно приводит к проблеме отсутствия универсально принятой терминологии и соответствующей модели бизнес-процессов УЦП. Существенный вклад в решении этого вопроса были сделаны представителями российской школы, в частности, Сергеевым В.И., Ивановым Д.А., однако в целом эта проблема еще остается актуальной.

Еще одной проблемой является тот факт, что модели УЦП (к примеру, SCOR, GSCF), как правило, не могут быть использованы без предварительной адаптации к особенностям конкретных отраслей. Это в полной мере относится к металлургической отрасли с ее особой спецификой. То есть для того, чтобы можно было использовать стандартные модели УЦП в части интегрированного планирования, необходима доработка и развитие соответствующей методологии.

Еще одной проблемой, актуальной для российской экономической науки, является отсутствие официального полного перевода ряда ключевых моделей УЦП (в частности, SCOR, GSCF). Причем, судя по неформальным переговорам на предмет перевода материалов этих моделей с владельцами, это является осознанной позицией. Таким образом, английский язык в качестве стандарта моделей УЦП затрудняет внедрение этих концепций на практике на российских предприятиях и, в частности, на предприятиях черной металлургии.

### **1.5. Анализ ключевых вызовов отрасли, областей улучшений и оценка экономических потерь**

Металлургическая отрасль находится на спаде. Ключевыми проблемами являются: превышение предложение над спросом, большое количество избыточных мощностей. По данным WSA [57] уровень загрузки мощностей

в мировом производстве стали снизился, составив в 2015 году в среднем 69,7% по сравнению с 73,4% годом ранее (а в декабре 2015 года уровень загрузки мощностей рекордно снизился до 64,6%). Тенденция к сокращению уровня загрузки мощностей продолжается уже не первый год и отражает общемировой тренд переизбытка производственных мощностей в металлургии. Для нивелирования перекосов в отрасли металлургия остро нуждается в росте мирового рынка. До этого момента компании будут максимально фокусировать внимание на повышении конкурентоспособности.

В рамках новой реальности можно сформулировать следующие основные возможные области повышения конкурентоспособности металлургических компаний: обеспечение прозрачности и синхронизация спроса и предложения, стандартизация процессов и операций в рамках глобальных цепей поставок, предоставление потребителям дифференцированного сервиса/разработка новых технологичных продуктов, оптимизация затрат/ценовой политики [143], снижение выбросов.

Специалисты PwC в своем прогнозе по рынку стали до 2025г. [133] среди пяти компетенций обеспечения конкурентоспособности предприятий черной металлургии отмечают необходимость использования методологии управления цепями поставок [76] и применения специализированных АСП ЦП (Advanced Planning and Scheduling, APS) [34, 36] для поддержки процессов планирования.

Анализ открытых источников i2 Technologies известного в прошлом производителя программного обеспечения – одного из мировых лидеров по количеству внедрений АСП ЦП в металлургии, а также открытых источников компании LOGIS, производителя решений по планированию нового поколения [34] позволяет оценить влияние применения рассматриваемых технологий на ключевые показатели эффективности (таблица 3).

**Влияние организации процессов планирования в соответствии с лучшими практиками на ключевые показатели эффективности**

Влияние процесса в соответствии с лучшими практиками на КПЭ	ROI	Оптимальный сортament	Загрузка ресурсов	Уровень запасов	Время выполнения заказа	Дисциплина отгрузки
Стратегическое планирование	100%					
Тактическое планирование и управление портфелем заказов		100%	40%	30%	10%	10%
Оперативное планирование цепи поставок, в т.ч.:						
- назначение материалов			10%	30%	10%	10%
- календарное планирование			25%	30%	50%	50%
- диспетчирование			25%	10%	30%	30%

Эмпирическая оценка экономического эффекта внедрения лучших практик интегрированного планирования приведена в таблице 4.

Таблица 4

**Оценка экономического эффекта**

Показатель	Рычаг	Эффект
ROI/ROA	Стратегическое планирование	Индивидуально
Маржинальная прибыль	Тактическое планирование	Увеличение прибыли до 5%
Загрузка оборудования	Оперативное планирование	Повышение до 20%
Уровень запасов		Снижение до 50%
Дисциплина отгрузки		Достижение показателя 98,5% при точности обещания 1 день
Время выполнения заказа		Сокращение до 50%

Приведенные данные говорят о наличии больших резервов повышения эффективности планирования на металлургических предприятиях России и не только. К примеру, на сегодняшний день все ключевые российские металлургические компании дисциплину отгрузки измеряют на месячных интервалах времени, дискретность плана производства также составляет один месяц. Использование такого подхода на крупных металлургических комплексах часто ведет к неравномерной загрузке производственных мощностей в течение месяца, возникновению авралов в конце месяца. В свою

очередь, неравномерная загрузка оборудования приводит к возникновению излишних запасов полуфабрикатов.

В целом можно отметить следующие типовые проблемы металлургических компаний в области организации процесса интегрированного планирования:

- отсутствие единой методологии планирования (даже в рамках одной компании, одного завода);
- низкое качество нормативно-технологической информации;
- проблемы учета факта;
- дискретное месячное планирование;
- высокая доля ручного труда.

В последние годы наметившийся спад в российской экономике, ужесточившаяся конкурентная борьба на мировых рынках вынуждает металлургические компании пересматривать свои политики управления цепями поставок в поисках точек повышения эффективности. В частности, большое внимание уделяется разработкам подходов в области интегрированного планирования. В качестве примера можно привести ряд крупнейших российских металлургических компаний, которые ведут работы в этом направлении. К примеру, Магнитогорский металлургический комбинат в 2011 году завершил внедрение системы тактического планирования цепи поставок [46] и приступил к реализации системы оперативного планирования производства [45]. «Северсталь» последовательно внедрила систему тактического планирования [61,15], систему управления спросом [107] и приступила к повышению эффективности системы оперативного планирования производства и контроля исполнения. «Мечел» реализовал систему тактического планирования в 2005 году [43] и затем на своем крупнейшем предприятии – Челябинском металлургическом комбинате разработал прототип системы оперативного планирования. Корпорация ВСМПО-АВИСМА реализовала систему планирования производства нового поколения совместно с компанией LOGIS [16]. ОМК последовательно внедрила систему

тактического планирования цепи поставок [6], систему оперативного планирования производства и продолжает развивать свою производственную систему.

Приведенные примеры тем не менее, к сожалению, носят фрагментарный характер и не представляют собой целостного подхода к интегрированному планированию. В связи с этим для успешной реализации долгосрочных планов металлургических компаний по развитию необходим систематизированный подход на основе единой методологии интегрированного планирования, адаптированной к особенностям цепей поставок предприятий черной металлургии.

### **1.6. Постановка цели и задач исследования в разрезе совершенствования планирования**

Проведенные в первой главе исследования особенностей планирования цепей поставок предприятий черной металлургии позволяют сделать следующие выводы и обобщения.

Во-первых, глобализация цепей поставок предприятий черной металлургии значительно усложнила материальные, финансовые и информационные потоки внутри них, а значительное превышение предложения над спросом вывело конкурентную борьбу между ними на новый уровень. В связи с этим в ближайшие годы компаниям черной металлургии будет жизненно необходимо сконцентрироваться на минимизации затрат, предоставлении потребителям дифференцированного сервиса, стандартизации и повышении прозрачности процессов и операций в их цепях поставок, разработке новых технологичных продуктов, снижении выбросов. Значительную роль в достижении этих целей будет играть методология изменений на основе принципов и процессов управления цепями поставок и, в частности, методологии интегрированного планирования, а также инструменты информационной поддержки планирования цепей поставок на базе специализированных АСП ЦП для металлургической отрасли.

Во-вторых, выявленные особенности предприятий черной металлургии, в частности, единичное и/или мелкосерийное производство, основное узкое место, длительный цикл производства, производственные кампании, неопределенность процессов, необходимость синхронизации планов и материальных потоков, необходимость снижения инерционности процесса планирования определяют требования к проведению дальнейших исследований на предмет развития методологии интегрированного планирования в части адаптации к особенностям рассматриваемых предприятий.

Данные выводы позволяют определить цель исследования как развитие методологии интегрированного планирования в части адаптации к особенностям рассматриваемых предприятий, а также задачи:

- выявление направления развития методологии планирования с точки зрения применения к особенностям планирования цепей поставок рассматриваемых предприятий;
- определение области развития процессных моделей SCOR, GSCF в части интегрированного планирования цепей поставок рассматриваемых предприятий;
- уточнение методов и моделей интегрированного планирования на основании исследования практического опыта внедрений систем планирования в России и в мире;
- анализ современных требований к информационной поддержке интегрированного планирования, систематизация опыта внедрений автоматизированных систем планирования цепей поставок (АСП ЦП) на предприятиях черной металлургии.

## **ГЛАВА II. РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

### **2.1. Определение требований к методологии планирования цепей поставок предприятий черной металлургии**

В настоящем подразделе определяются основные требования к методологии планирования цепей поставок предприятий черной металлургии для целей проведения дальнейших исследований стандартных моделей УЦП (SCOR, GSCF) на предмет их соответствия.

Советский энциклопедический словарь дает следующее определение методологии: «методология (от «метод» и «логия») – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности». В философском энциклопедическом словаре: «методология – система принципов и способов организации и построения теоретической и практической деятельности, а также учение об этой системе».

Таким образом, методология рассматривает организацию деятельности. Организовать деятельность означает упорядочить ее в целостную систему с четко определенными характеристиками, логической структурой и процессом ее осуществления – временной структурой (исходя из пары категорий диалектики «историческое (временное) и логическое»).

В рамках настоящей работы исследуются практические методологии планирования, ориентированные на решение практических проблем. Практическая методология – это программа (алгоритм), набор приёмов и способов того, как достичь желаемой практической цели и не погрешить против истины, или того, что считается истинным знанием. Качество (успешность, эффективность) метода при этом проверяется практикой, решением научно-практических задач, то есть поиском принципов достижения цели, реализуемых в комплексе реальных дел и обстоятельств.

Результаты проведенного в первой главе анализа особенностей планирования цепей поставок комплексов черной металлургии позволяет определить требования к методологии планирования рассматриваемых

предприятий. Для этого будет использована следующая широко распространенная в практике структура:

1. Основание методологии.
2. Логическая структура деятельности.
3. Характеристики деятельности.
4. Временная структура деятельности.

### ***Основание методологии***

Методологические положения должны быть основаны на фундаментальных и прикладных разработках отечественных и зарубежных ученых в области экономической теории, теории управления, теории логистики и управления цепями поставок, методах математического моделирования, методологии моделирования бизнес-процессов, системного анализа, исследования операций и методов экспертных оценок.

### ***Логическая структура деятельности***

Субъектом деятельности являются бизнес-подразделения предприятий, занимающиеся планированием цепей поставок, а также планированием отдельных аспектов деятельности в цепях поставок предприятий черной металлургии.

Объектом деятельности являются цепи поставок промышленных предприятий (на примере комплексов черной металлургии).

Предметом деятельности в настоящей работе является методология интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий.

Формой деятельности являются согласованные субъектами деятельности плановые показатели цепей поставок предприятий черной металлургии.

Средствами деятельности являются современные информационные технологии.

Методы деятельности определяются исходя из основания методологии.

Результатом деятельности являются реалистичные, отвечающие заданным политикам компании, сбалансированные планы цепей поставок

предприятий черной металлургии целиком, а также планы их отдельных звеньев.

### ***Характеристики деятельности***

Особенностями деятельности является необходимость привлечения больших иерархических команд планирования, комбинирование толкающей и тянущей философии планирования, учет специфики металлургического производства.

Ключевым принципом деятельности является следующая установка: максимизация качества клиентского сервиса и обеспечение максимальной операционной эффективности.

Основными условиями деятельности являются регулярное изменение внешних и внутренних условий, повышение требований к качеству клиентского сервиса, повышение давления со стороны конкурентов, снижение цен реализации, расширение и усложнение ассортимента.

Ключевой нормой деятельности является следование ключевому принципу деятельности.

### ***Временная структура деятельности***

Временная структура деятельности должна включать все три уровня планирования: стратегическое, тактическое и оперативное. Таким образом, необходимо обеспечить иерархичность планирования. Стратегическое планирование имеет горизонт 3-20 лет и дискретность год/квартал. Тактическое планирование имеет горизонт до 18 месяцев и дискретность месяц/неделя/декада. Оперативное планирование имеет горизонт 1 месяц/1 неделя и дискретность кампания/день/минута.

Для целей обеспечения высокой адаптивности к изменяющимся внешним и внутренним условиям работы цепей поставок предприятий черной металлургии необходимо обеспечение непрерывности деятельности.

В рамках настоящей работы на основании приведенных выше требований были проведены исследования ключевых существующих подходов

к интегрированному планированию. В результате были выбраны следующие три наиболее известные и состоявшиеся концепции.

1. Типовая организация процессов планирования цепей поставок предприятий черной металлургии (результат проведенного автором исследования по систематизации и формализации процессов планирования цепей поставок ряда ведущих металлургических компаний и разработчиков в области АСП ЦП).

2. Референтная модель операций в цепях поставок – SCOR [135,139,66,74,73,76] с расширениями CCOR и DCOR от Совета по цепям поставок – Supply Chain Council (SCC).

3. Модель управления цепями поставок от Global Supply Chain Forum [122,127,135].

С целью систематизации указанных концепций и определения направления развития целостной методологии планирования цепей поставок для металлургической отрасли автором проведена систематизация и формализация процессов планирования цепей поставок ряда ведущих металлургических компаний и разработчиков в области АСП ЦП [80]. В следующем подразделе также приводятся результаты сравнительного анализа лучших практик организации бизнес-процессов планирования цепей поставок металлургических компаний со стандартными моделями управления цепями поставок SCOR [135,139,66,74,73,76] с расширениями CCOR и DCOR и GSCF.

## **2.2. Определение направления развития методологии планирования цепей поставок для металлургической отрасли**

Через сдвиги на глобальных рынках привела к существенной трансформации системы управления цепями поставок ведущих металлургических компаний [117,133,82], в частности, системы планирования. Для повышения конкурентоспособности компании вынуждены были перестроить свои бизнес-процессы, повысить их эффективность. В металлургической отрасли ведущими компаниями были разработаны

специализированные подходы по планированию цепей поставок, которые на практике доказали свою высокую эффективность по всему миру [34,5,21,129].

Развитие российских металлургических компаний, выход их на глобальные рынки [133,82] требуют применения этих лучших практик для обеспечения их конкурентоспособности в условиях жесткой борьбы на мировом рынке. Для успешного применения указанных подходов требуется их формализация и соответствующая научная проработка.

Как было отмечено выше, в последние два десятилетия ведущими мировыми металлургическими компаниями с небольшими различиями была разработана и принята типовая организация процессов планирования их цепей поставок, которая максимально эффективно позволяет реализовать корпоративную стратегию обеспечения высокой конкурентоспособности этих компаний. Результатом проведенного автором исследования [85] явилась систематизация и формализация этих процессов и их взаимосвязей, сопоставление этих процессов со стандартными моделями управления цепями поставок SCOR+CCOR+DCOR [135,139,66,74,73,76,75] и GSCF [122,127,135].

Исследование базировалось на анализе данных открытых источников таких ведущих металлургических компаний как POSCO, Корея; JFE, Япония; Timken, США; Trinecke Zelezarny, Чехия; China Steel, Тайвань; Tata Steel, Индия; Северсталь, Россия; ММК, Россия; ОМК, Россия; Мечел, Россия; Корпорация «ВСМПО-АВИСМА», Россия и многих других. Большой вклад в настоящее исследование внесли материалы ведущих производителей программного обеспечения класса АСП ЦП для металлургической отрасли: LOGIS [53], JDA (i2 Technologies), PSI Metals/Broner Metals Solutions, Quintiq, OM Partners.

Представленная на рисунке 6 организация ключевых процессов планирования в металлургии является обобщением лучших практик организации бизнес-процессов и соответствующих поддерживающих систем указанных компаний.



**Рис. 6 – Организация ключевых процессов планирования в металлургии**

### Стратегия

В рамках проектирования цепи поставок высшее руководство определяет наиболее перспективные направления развития цепей поставок на несколько лет/десятилетий вперед. В рамках этого процесса решаются задачи стратегического планирования снабжения, производства, доставки [87].

Типовые задачи стратегического планирования цепи поставок в разрезе функций приведены в таблице 5.

### Типовые задачи стратегического планирования цепи поставок

<p><b>Снабжение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определение источников поставки сырья и материалов</li> <li>• расчет уровня запасов сырья и материалов</li> <li>• определение наиболее выгодного периода для внедрения преобразований</li> </ul>	<p><b>Производство</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определение оптимального расположения новых производств</li> <li>• выявление неприбыльных производств</li> <li>• определение необходимости в добавлении производственных линий, а также перепрофилирования</li> <li>• разработка стратегии по аутсорсингу (доля производства продукции смежниками)</li> <li>• определение наиболее выгодного периода для внедрения преобразований</li> </ul>
<p><b>Дистрибуция</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определение оптимального расположения новых региональных складов и дистрибуционных центров</li> <li>• оценка эффективности существующей сети складов</li> <li>• распределение зон покрытия спроса между складами/дистрибуционными центрами компании</li> <li>• выработка стратегии по оптимальному объединению сети складов после слияния/поглощения других компаний;</li> <li>• определение уровня запасов в цепи поставок</li> <li>• определение наиболее выгодного периода для внедрения преобразований</li> </ul>	<p><b>Транспорт</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определение видов транспортировки для заданных регионов для поставок снабжения и сбытовых поставок</li> <li>• определение доли собственного и привлекаемого транспорта</li> <li>• оценка целесообразности унификации собственного транспорта</li> <li>• определение наиболее выгодного периода для внедрения преобразований</li> </ul>
<p><b>Финансы</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• оценка программы инвестиций (оптимизация портфеля инвестиционных проектов)</li> <li>• определение источников финансовых ресурсов и вариантов их размещения</li> <li>• формирование политики трансфертного ценообразования</li> <li>• определение наиболее выгодного периода для внедрения преобразований</li> </ul>	<p><b>Продажи</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определение ассортимента продаваемой в различных регионах продукции</li> <li>• оценка применения различных вариантов ценовой политики</li> <li>• определение приоритетности каналов продаж/рынков сбыта</li> <li>• определение наиболее выгодного периода для внедрения преобразований</li> </ul>

Зачастую многие эти задачи являются конкурирующими. В рамках стратегического планирования необходимо найти наиболее выгодную стратегию развития цепи поставок, учитывающую возможности и ограничения внутренней и внешней среды компании.

## Тактика

Основной целью тактического планирования является создание среднесрочных бизнес планов предприятия, отличающихся прозрачностью, согласованностью и подотчетностью. Прозрачность достигается в том случае, когда бизнес-планы понятны и приняты к исполнению всеми заинтересованными участниками процесса. Согласованность достигается путем организации эффективного процесса совместного планирования, в рамках которого участники имеют возможность предоставить для совместного обсуждения свое видение ситуации. Подотчетность подразумевает под собой ответственность участников процесса за исполнение принятого плана.

Наибольший интерес с точки зрения повышения конкурентоспособности металлургических компаний на тактическом уровне планирования представляют процессы Планирования продаж и операций и Управления портфелем заказов.

### ***Планирование продаж и операций***

Как правило, в металлургии процесс Планирования продаж и операций осуществляется на месячной основе и состоит из трех основных шагов: Планирование спроса [83], Планирование цепи поставок, Квотирование продаж.

Очень сложно переоценить важность процесса Планирования спроса. Прогноз продаж является основой для всех последующих решений по оптимальному сортаменту, по планированию кампаний (монтажности), по определению потребности в сырье, по составлению расписания ремонтов оборудования, по уровню запасов и в конечном итоге решений, связанных с управлением рабочим капиталом.

Процесс Планирование спроса начинается со статистического прогнозирования будущих продаж на основании имеющейся информации об отгрузках продукции в прошлом. Прогнозы включают в себя ожидания и оценки по имеющейся сезонности, цикличности, а также по существующим трендам в спросе.

Прогноз, полученный на этом шаге, как правило, не отличается точностью и носит предварительный характер. Участие специалистов из подразделения сбыта, знающих потребности клиентов и текущие рыночную ситуацию, необходимо для того, чтобы базовые статистические оценки превратились в прогноз продаж, за который сбыт готов нести ответственность.

В то же время маркетинг, либо другие вовлеченные подразделения, могут также внести свою лепту в формирование окончательного согласованного прогноза продаж.

На финальной стадии проводится совещание с участием всех заинтересованных подразделений, в рамках которого рассматривается и утверждается текущее согласованное видение прогноза продаж.

Результатом Планирования спроса является прогноз потребностей рынка в разрезе используемых размерностей в денежном и натуральном выражении, который не ограничен имеющимися производственными мощностями. Прогноз также содержит информацию о приоритетности спроса для случаев, когда спрос превышает предложение.

Этап планирования цепи поставок является краеугольным камнем всего процесса. Именно здесь спрос в виде прогноза продаж и предложение в виде производственных мощностей и запасов балансируются в соответствии с заданными бизнес-целями предприятия.

Для данного этапа особенно подходит определение процесса планирования как науки поиска и анализа альтернатив для принятия рациональных решений. Для этих целей сначала разрабатывается бизнес-модель предприятия. После того как модель верифицирована на основании истории или на основании экспертных оценок, возможно ее использование для оценки результатов принятия тех или иных управленческих решений.

Исходной информацией для процесса Планирования цепи поставок являются:

- прогноз с заданной приоритетностью в тоннах в разрезе продуктовой, потребительской и временной размерностей;

- техкарты-маршруты производства;
- информация о входящих запасах позиций в тоннах;
- производительности, нормы расхода, экономические показатели;
- выходы годного материала для производственных процессов;
- расписание ремонтов и простоев оборудования;
- уровни минимальных, максимальных и целевых запасов для различных местоположений;
- приоритетность заказов исходя из коммерческих и стратегических соображений.

Планирование цепи поставок, как правило, привязано к реальным процессам, происходящим на предприятии. Реальность может расходиться с планом. Производство может быть ниже запланированного уровня в какие-то моменты времени, тем самым создавая дополнительную нагрузку на предприятие по наверстыванию упущенных объемов или же, наоборот, может быть выпущено больше продукции, чем было изначально запланировано, предоставляя компании тем самым возможности по увеличению объемов продаж. Объем реальных заказов может быть меньше, чем было запланировано, что может привести к необходимости снижения объемов производства или же спрос на рынке может превышать предложения, что ведет к необходимости распределения ограниченных мощностей между пришедшими заказами клиентов. Уровень запасов может быть выше нормативного. В завершение можно упомянуть непредвиденные ситуации, которые могут произойти на предприятии. Например, срочный ремонт ресурсов. Обычно сразу несколько событий из вышеперечисленных примеров случается одновременно. В такой ситуации основная задача планировщика создать среднесрочный план деятельности предприятия, который бы был сбалансированным, учитывал бы вышеперечисленные обстоятельства и был бы согласован ключевыми участниками процесса.

Таким образом, Планирование цепи поставок, по своей сути, является итеративным процессом. Обычно требуется несколько итераций, прежде чем планировщик находит удовлетворяющее всех участников процесса решение.

Следует отметить также, что планировщика обычно спрашивают о причинах расхождения плана с реальностью. В рамках процесса Планирования цепи поставок обычно строятся и сохраняются несколько вариантов планов для возможности их сравнения и отслеживания выполнения по мере поступления фактических данных.

Основным выходом процесса Планирования цепи поставок является укрупненный недельный или месячный план снабжения, производства и сбыта предприятия на скользящем горизонте планирования до 18 месяцев.

Результаты включают в себя:

- уровень загрузки каждого производственного ресурса;
- план производства в запас для обеспечения бесперебойности поставок в случае ремонтов ресурсов;
- оптимальный сортамент производства;
- план отгрузок в разрезе продукции;
- оценка ожидаемого выхода годного материала;
- потребности в снабжении;
- оценка запасов и незавершенной продукции на конец каждого интервала планирования в разрезе продукции и процессов;
- планы с учетом монтажности;
- план сбыта, который определяет, какой объем заказов для каждого продукта должен будет быть удовлетворен;
- оценка финансовой составляющей планов для целей последующего сравнительного анализа альтернатив.

Следует отметить, что основная функция Планирования цепи поставок – предоставить возможность руководству просчитать последствия принятия тех или иных управленческих решений заранее и оценить их бизнес-эффект.

План цепи поставок является важной исходной информацией для следующего этапа процесса Планирования продаж и операций – Квотирования продаж. В рамках этого этапа осуществляется детальное распределение спланированных на предыдущем этапе объемов продукции по иерархии каналов продаж. При этом распределении используются predetermined правила и приоритеты.

Подлежащие резервированию мощности можно также распределить по клиентам и рынкам сбыта. Это делается обычно для того, чтобы предотвратить ситуацию формирования низко маржинального портфеля заказов. Данная ситуация имеет место, когда заказы принимаются только по принципу первого пришедшего.

Еще одна распространенная практика, это резервирование определенного объема мощностей на одном из верхних уровней иерархии каналов сбыта для сглаживания эффекта неточности при планировании продаж или для сглаживания возможных сбоев в производстве.

Данные о поступлении реальных заказов клиентов отслеживаются в разрезе каждого продукта, временного интервала, иерархии каналов сбыта. При этом каждый раз обновляются доступные заквотированные мощности. Как правило, квоты обновляются на еженедельной основе. Это делается для того, чтобы учесть изменения в рыночной ситуации, а также в производстве.

Квотирование продаж позволяет осуществлять активное управление формированием портфеля заказов, учитывая возможности производства, требования рынка и бизнес цели предприятия, при этом достигая оптимального баланса между эффективностью сбыта и производства. Данный процесс является основополагающим для проведения стратегии сбыта в жизнь.

### ***Управление портфелем заказов***

Основой Управления портфелем заказов является подпроцесс Управления квотами. План по квотам обновляется, как правило, раз в месяц в процессе Планирования продаж и операций одновременно с обновлением плана спроса. План по квотам учитывает одновременно бизнес-цели предприятия и

возможности производства и задает желаемый профиль заказов на заданный горизонт планирования.

По мере приемки заказов-спецификаций от клиентов неизбежно возникнут ситуации, когда часть запланированных квот не будет востребована, другая же часть квот наоборот будет востребована больше запланированного уровня. Каждую неделю планировщик должен принимать решения о необходимости внесения изменений в процессе приемки заказов. К примеру, если клиент запрашивает больше своего заквотированного объема и существует объем этого же продукта заквотированный, но не востребованный другим клиентом, то вмешательство, скорее всего, не потребуется, так как совокупный объем по квоте на этот продукт не превышен. В ситуации, когда на заданную неделю приходит недостаточно заказов-спецификаций от клиентов, возможно подтянуть заказы со следующих недель, давая возможность сбыту реализовать невостребованные квоты в будущем. Основная цель процесса квотирования – всегда максимально точно заполнить квоты фактическими заказами-спецификациями, при этом предоставляя сбыту максимальную гибкость и практичность в работе с клиентами.

Вторым подпроцессом Управления обещаниями и приемкой заказов является Управление обещаниями. В рамках этого подпроцесса происходит предоставление информации потребителям о возможной дате отгрузки.

План по квотам формирует необходимый базис для Управления обещаниями. Данный план описывает, какое количество продукции в какой момент времени для каких клиентов или каналов продаж доступно для резервирования под заказ.

После подтверждения квоты служба сбыта компании проводит оценку возможности производства продукции в заданные сроки. В прошлом достаточно распространенным способом определения даты исполнения заказа являлось использование статистики и в некоторых случаях проверка загрузки узких мест цепи поставок. Данный подход хорошо работает в случае стабильного спроса и низкой вариативности заказов. Однако в современных

условиях разница между статистическими оценками длительности производства и фактически возможными является недопустимой. Качество клиентского сервиса значительно ухудшается в значительной степени и из-за некорректной первоначальной даты обещания исполнения заказа. Именно поэтому в ведущих металлургических компаниях оценка возможности исполнения заказов осуществляется на основании актуальной модели логистической цепи. В рамках этого подхода заявка проходит несколько этапов оценки, включая подбор материалов, производственное планирование и составление расписания работы оборудования. В результате проверки служба сбыта получает информацию о том, что заявка может быть выполнена в полном объеме к требуемой дате, выполнена в полном объеме раньше/позже требуемой даты, не может быть выполнена вообще. Таким образом, уже на первом этапе служба сбыта имеет возможность предоставить клиентам реалистичную дату исполнения и возможные альтернативные варианты.

Безусловно существуют и другие этапы в ходе приемки заказов, такие как проверка дебиторской задолженности клиента, подготовка информации о предпочтениях клиента по виду доставки, а также ценообразование.

### Оперативный уровень

Основной целью оперативного уровня планирования является управление ежедневным производственным процессом. В течение дня тысячи производственных заказов с десятком тысяч позиций материалов на основании заданных руководством бизнес-целей должны быстро и эффективно быть запланированы и пойти в производство.

Ключевыми задачами для этого процесса являются: повышение эффективности загрузки ресурсов, контроль запасов, повышение выхода годного материала, снижение производственных затрат, повышение дисциплины поставок. Эти цели зачастую конкурируют между собой. Также относительная важность каждой бизнес цели может меняться с течением времени в зависимости от активности конкурентов на рынке, экономической ситуации, изменений во взглядах в руководстве.

## ***Разработка технологии***

В рамках этого этапа специалисты металлургической компании подбирают подходящие технологические маршруты для типовой продукции и разрабатывают технологию изготовления для уникальной продукции. Качество и полнота данных с этого этапа оказывают существенное влияние на достоверность логистической модели.

Вся необходимая технологическая нормативно-справочная информация прорабатывается в рамках этого шага, включая проработку возможных альтернатив. Это включает в себя проработку основных и альтернативных технологических схем (последовательность обработки в цехах). Основная схема, как правило, выбирается на основании критерия оптимальности с точки зрения качества и производственных затрат. Ранжирование альтернативных схем базируется на тех же принципах.

Потребности в материалах на каждом из уровней назначенной технологической схемы является вторым важным моментом процесса разработки/подбора технологии.

Третьим важным моментом процесса разработки/подбора технологии является разработка/подбор детальных производственных маршрутов для каждого из цехов. В рамках маршрутов должны быть определены последовательности операций, основные и альтернативные ресурсы, на которых эти операции могут быть выполнены для конкретного заказа, относящиеся к операции параметры, такие как время ожидания, предоперационное время, время обработки, постоперационное время, выход годного материала и другие параметры, необходимые для планирования и диспетчирования (требования по выплавке, требования по прокату, требования по термической обработке, механообработке/отделке,...). Разработка/подбор технологии основывается на технико-экономических картах и других типах данных.

Следует особо отметить, что в металлургии технология производства может меняться в процессе изготовления продукции. Это может быть связано с

получением продукции несоответствующего качества и потребностью в соответствующих доработках, загруженностью производственных ресурсов и необходимостью использования альтернативных маршрутов.

### ***Назначение и дизайн материалов***

Назначение материалов это процесс постоянного поиска и назначения не привязанной к заказам продукции к новым открытым заказам.

В связи с тем, что металлургия в основном работает по принципу создание продукции под заказ, цепочка материалов в производстве обычно на ведущих предприятиях привязана к конкретному заказу. При этом на каждом из этапов производства, особенно на участке непрерывной разливки, регулярно производится продукция с качественными характеристиками, отличными от требований потребителя – несоответствующая продукция. Главной причиной этому является вариативность производственного процесса. Также на производство несоответствующей продукции оказывает влияние принятый в компании подход к составлению расписаний разливки. Как уже было сказано выше, несоответствующая продукция производится более менее регулярно, и в связи с этим регулярно пополняются запасы продукции, не привязанные к заказам.

Для любого не назначенного материала зачастую существует несколько открытых заказов с подходящими требованиями. То же самое можно сказать и об открытых заказах. Для них зачастую существуют несколько доступных для назначения материалов. При наличии выбора становится важно оценить эффективность каждого из вариантов для минимизации стоимости удовлетворения заказа. Каждый заказ и каждый материал имеют сотни атрибутов, которые необходимо сопоставить и оценить для принятия решения о приемлемости данного назначения. В качестве примера можно привести следующие основные атрибуты:

- марки стали;
- химический состав;
- требования по тестированию;

- размеры;
- качество поверхности;
- местоположение площадки хранения (возможность и предпочтение по перемещению материала к производственному агрегату);
- расположение материала в штабеле;
- возраст материала;
- требуемая дата отгрузки.

Общепринятым подходом в отрасли является выжидание определенного периода времени, к примеру, 30 дней, на предмет появления подходящего заказа потребителя. Если в течение оговоренного срока подходящий заказ не поступает, продукция становится доступной для продажи по сниженным ценам. Если и это не помогает реализовать ее, то она идет на переплавку. Таким образом, оптимальный поиск и назначение несоответствующей продукции заказам является важным фактором повышения эффективности деятельности предприятия.

Отдельного упоминания стоит дизайн материала. Одной из наиболее сложных задач дизайна материала является группировка небольших объемов заказов в оптимальную производственную партию. К примеру, отдельные заказы плоского прокатного производства группируются в производственные партии – слябы. Еще одним примером может служить задача оптимального раскроя листа для последующей штамповки.

### ***Производственное планирование***

Производственное планирование отвечает за управление повседневным движением заказов и связанных с ними материалов в логистической цепи. Оно отличается от диспетчирования тем, что обычно оперирует подневными временными интервалами, тогда как при диспетчировании последовательностей заказов планируется с еще большей временной детализацией. Качественное планирование производства является необходимым условием для достижения высокого уровня операционной эффективности и клиентского сервиса.

Цели производственного планирования, с одной стороны, достаточно прямолинейны:

- эффективное управление запасами незавершенного производства и готовой продукции для обеспечения бесперебойного функционирования производства и для минимизации накопления избыточных запасов;
- максимальная загрузка ключевых ресурсов производства для улучшения финансовых показателей компании;
- исполнение заказов клиентов в срок и в полном объеме.

Проблема заключается в том, что эти цели находятся в сложной взаимной зависимости. К примеру, более короткие по длительности кампании улучшают показатель качества клиентского сервиса и сокращают запасы незавершенного производства и готовой продукции. Обратной стороной при этом является ухудшение показателя загрузки оборудования по причине большего количества и частоты перенастроек. Также фокус только на улучшение качества клиентского сервиса ведет к увеличению запасов и уменьшает загрузку оборудования. С другой стороны, приоритет только на улучшение показателя загрузки оборудования негативно скажется на уровне запасов и качестве клиентского сервиса. Все вышеперечисленное позволяет сделать вывод о том, что для построения хорошего плана необходимо найти определенный баланс между этими тремя конкурирующими целями.

Общепринятым подходом решения этой задачи на позаказной основе является следующий сетевой алгоритм. Сначала для каждого заказа потребителя определяется цепь самых ранних дат всех этапов производства заказа (EPST) с учетом имеющихся ограничений по материалам. Расчет дат идет от сырья к готовой продукции. Затем определяется цепь наиболее поздних возможных дат всех этапов производства заказа (LPST). Расчет идет от готовой продукции к сырью. Диапазон времени между наиболее ранней датой исполнения заказа и наиболее поздней датой исполнения заказа является допустимым временным интервалам производства заказа. В результате планирования каждый заказ попадает в описанный выше интервал. Чем ближе

даты исполнения основной массы заказов к наиболее поздней возможной дате производства (LPST), тем меньшее количество запасов и незавершенной продукции будет пролеживать в результате исполнения этого плана.

Первоначальная оценка загрузки ресурсов базируется на плане, основанном на наиболее поздних датах производства. Так как при этом не учитываются реальные ограничения ресурсов, этот план загрузки называется неограниченным по мощностям (ICP). Этот неограниченный по мощностям план дает возможность планировщикам проанализировать те существующие проблемы, которые не позволяют достигнуть наикротчайшего цикла производства, а именно: ограничения по мощностям ресурсов, нехватка запасов и т. д.

После создания неограниченного по мощностям плана загрузка ресурсов балансируется, для получения реалистичного плана производства.

Безусловно каждое металлургическое предприятие уникально по-своему и будет использовать свою собственную логику при балансировке ресурсов для создания производственного плана. Планировщики, вне зависимости от уровня их технической оснащенности, склонны использовать один и тот же подход при построении производственного плана. В первую очередь балансируются ключевые производственные участки, а затем уже под них подстраиваются планы остальных участков. Очевидно, что количество ключевых участков, а также их приоритеты отличаются для разных производителей и даже могут изменяться с течением времени по причине изменения производимого сортамента, простоев оборудования и значительных изменений в производственной цепочке. К примеру, производители сортового проката могут вести точку отсчета от кампаний (монтажностей) прокатного производства. Производители листа и рулонов могут планировать загрузку от самых конечных переделов.

Одним из ключевых требований к плану является его реалистичность. При построении производственного плана должны учитываться реалистичные производительности и прочая нормативно-справочная информация.

Производственный план должен добиваться максимальной ритмичности производства и сглаживать возможные перегрузки. В плане должны быть учтены технологические правила и ограничения, такие как последовательность производственных кампаний или последовательность производства определенного сортамента. Кроме этого, план должен учитывать ограничение по минимальным и максимальным уровням запасов незавершенного производства и готовой продукции. Производственный план должен учитывать результаты более детального этапа составления расписаний производства. Реалистичность плана заключается в его выполнимости. В этом смысле хороший план тот, который в конечном счете был выполнен в производстве.

Таким образом, постоянное повышение реалистичности производственного плана – это и есть одна из главных задач процесса планирования. Производственный план – это, по сути, модель того, какие ожидания возлагает планировщик на ближайшее будущее. Процесс улучшения точности модели должен быть непрерывным и основанным на процессе постоянного сравнения плана с фактом, анализа причин расхождений и внесения необходимых корректирующих управляющих воздействий для устранения этих расхождений.

### ***Планирование снабжения***

В рамках данного процесса определяется план снабжения производства из запасов, формируется план закупок сырья и материалов у поставщиков. Данный процесс и связанный с ним процесс диспетчирования снабжения особенно актуален для передельной металлургии (пример, производство труб, которое закупает листы у производителей плоского проката). Предприятия полного металлургического цикла обычно имеют значительные запасы сырья на своих производственных площадках и в меньшей степени зависят от поставщиков.

### ***Планирование доставки***

В рамках данного процесса формируется план доставки продукции покупателям в соответствии с требованиями будущих перевозок, в том числе

моделируются маршруты, планируются грузовые партии, определяются виды транспорта. Данный этап позволяет сформировать четкое видение перспектив необходимых объемов транспортировок. В России предприятия черной металлургии в основном используют для транспортировки железнодорожный транспорт, и в этом смысле сроки доставки в значительной мере зависят от российских железных дорог. При этом в последнее время наметилась тенденция к диверсификации транспортировок рассматриваемых предприятий. В частности, чаще стали использовать речной транспорт и автоперевозки.

### *Диспетчирование производства*

Выплавка и разливка, горячий прокат, холодный прокат, производство бесшовных труб, нанесение покрытий, отжиг и закалка и т. д. – все эти этапы производства имеют абсолютно разные подходы к диспетчированию. Последовательность обработки металла должна быть выстроена таким образом, чтобы не пострадало качество продукции, была обеспечена требуемая загрузка ресурсов, были заданы максимально близко к результатам производственного планирования даты начала производственных операций, при этом были бы удовлетворены все заданные производственные ограничения.

Важным моментом является интеграция производственного плана с процессами диспетчирования, в частности, диспетчирования выплавки и разливки – основного этапа производства. Основной этап производства – это тот этап, на котором создается основная ценность продукта, при этом расходуется максимальное количество ресурсов. На этом этапе задаются начальные условия для составления календарного плана всех последующих операций. В связи с этим качество расписаний выплавки и разливки оказывает существенное влияние на финансовые показатели деятельности металлургических компаний. Когда составляется производственный план, первые его несколько дней уже содержатся в расписаниях работы оборудования, поэтому план на эти дни должен быть взят из этих процессов. Это позволяет поддерживать целостность и непротиворечивость производственных планов и расписаний работы оборудования.

Для решения этой проблемы часто используется следующий подход:

1. Создается сбалансированный план производства без существенных ограничений по операциям выплавки и разливки, кроме заданных целевых дат. Исключение составляют ограничения по доступному времени ресурсов и фиксированный существующий план на ближайший замороженный период. Сбалансированный план производства задает в качестве исходных данных для процесса диспетчирования выплавки и разливки идеальное, с точки зрения удовлетворения потребителей, время исполнения операций для каждого из заказов, требуемый уровень запасов и уровень загрузки ресурсов на следующих переделах.

2. Создается расписание выплавки и разливки с максимально близкими к производственному плану датами операций.

3. Производственный план на ближайший период корректируется по результатам составления расписаний выплавки и разливки. Изменения из процесса диспетчирования принимаются как жесткие и не подлежащие изменению в производственном плане. После этого производственный план пересчитывается вновь.

4. На следующих этапах составляются расписания работы оборудования следующих переделов, и происходит последовательное изменение плана производства при необходимости.

Ограничения на участке выплавки и разливки отличаются значительной сложностью. На каждый отдельный день возможно построить огромное число различных вариантов расписаний выплавки и разливки. Среди этого множества существует цепь расписаний, каждое из которых улучшает показатели эффективности производства в разрезе вышеописанных задач. Когда планировщик под конец дня уходит с работы, он выбирает одно единственное расписание. Скорее всего, он с трудом представляет себе насколько далеко или близко он оказался от оптимума. Для крупных металлургических компаний разница между хорошим и отличным расписанием выплавки и разливки может составлять в денежном эквиваленте миллионы долларов в неделю.

Помимо процесса диспетчирования выплавки и разливки следует упомянуть задачу интеграции составления расписаний разливки с расписаниями горячего проката. После разливки наиболее эффективный способ производства заключается в немедленном горячем прокате полуфабрикатов – горячий всад. Во-первых, снижаются затраты на разогрев полуфабрикатов, так как они не успевают остыть. Во-вторых, уменьшаются потери от их пролеживания. В-третьих, время производственного цикла снижается, тем самым повышается гибкость в удовлетворении заказов потребителей. В заключение, если цикл удовлетворения заказа короче, чем у конкурентов, это является преимуществом и возможностью установления более гибкой ценовой политики. Горячая загрузка проката зависит от четырех составляющих: особенности размещения цехов предприятия, гибкости в загрузке разливочных и прокатных станов, сортимента производимой продукции и возможностями по составлению расписаний выплавки и разливки.

Первые три составляющих налагают теоретический максимум на объем горячей загрузки проката. Какой бы у завода не был потенциал, он может быть реализован только путем синхронизации расписаний работы выплавки, разливки и прокатки. Это еще больше увеличивает сложность составления расписаний работы оборудования.

### ***Диспетчирование снабжения***

В рамках данного процесса определяется детальное расписание снабжения производства из запасов, формируется расписание поступления сырья и материалов, используя данные поставщиков и перевозчиков.

### ***Осуществление доставки***

В рамках данного процесса осуществляется управление полным циклом транспортировки: организация заказа транспортных средств; уточнение маршрута; управление стоимостью транспортировки с настраиваемым учетом ставок тарифов; подготовка транспортировки и организация тендера на транспортировку; транспортировка и отслеживание груза в пути; поддержка финансовых транзакций.

## *Оценка эффективности и мотивация*

В контексте сбалансированной системы показателей лучшие практики организации процессов планирования цепей поставок позволяют добиться значительного улучшения ключевых показателей эффективности (КПЭ) во всех четырех перспективах: финансы, клиенты (качество сервиса), внутренние бизнес-процессы (операционная эффективность), обучение и рост.

В разрезе перспектив клиенты и процессы можно выделить несколько категорий КПЭ и сформулировать подходы к разработке эффективной системы сбалансированных показателей эффективности.

Эффективность внутренних бизнес-процессов металлургических предприятий обычно измеряется в объеме производства (тонны) на определенном уровне компании (подразделение, цех, компания) за конкретный период времени (день, неделя, месяц, год). При проектировании системы КПЭ целесообразно учитывать также следующие факторы.

### 1. Производство конечной продукции и полуфабрикатов.

Основной целью компании является производство товарной продукции, но ее невозможно достигнуть без наличия требуемых полуфабрикатов. Производство полуфабрикатов должно занимать соответствующее место в системе КПЭ цеха.

### 2. Разделение продуктов по группам сложности обработки и выходам годного материала.

Подобное разделение поможет избежать производства простых изделий с низким спросом. Также это должно обеспечить производство стратегически важных продуктов (улучшая конкурентоспособность компании) и более маржинальных продуктов.

### 3. Временной диапазон для КПЭ производства.

Устоявшейся практикой является измерение результатов раз в месяц, однако это зачастую приводит к неравномерной загрузке в течение измеряемого периода с пиком загрузки, приходящимся на конец периода. Уменьшение периода измерения КПЭ приводит к более равномерной загрузке

мощностей и повышению процента выполнения планов. Выравнивание загрузки также может быть достигнуто путем контроля других КПЭ, таких как уровень незавершенного производства (НЗП) и в особенности соблюдение сроков выполнения заказов.

Уровень НЗП еще один индикатор, отражающий эффективность производства. Как правило, целью компании является поддержание целевого уровня НЗП для обеспечения оптимальной производственной эффективности. Можно предложить следующие подходы к сегментации НЗП.

1. НЗП для заказов и непривязанные остатки.

2. Остатки готовой продукции и НЗП.

3. Пассивное НЗП, которое достаточно долго лежит без движения, и активное НЗП, которое движется по материальному потоку.

4. НЗП внутри цеха (перед/после ресурса) и материалы, которые либо ожидают перевозки в другой цех, либо в процессе, либо уже прибыли, но не приняты на баланс.

Дисциплина отгрузки в срок является основным показателем уровня клиентского сервиса. Можно предложить следующие подходы к сегментации выборки для расчета этого показателя.

1. Отставание приоритетных клиентских заказов.

Можно ввести различные уровни критичности отставания выполнения для приоритетных заказов, заказов с обычным приоритетом и заказов с низким приоритетом.

2. Критичность задержки исполнения заказов.

Можно ввести допустимые отклонения от даты исполнения. Они могут отличаться для конкретного заказа, клиента, рынка, продуктовой группы или цеха. Также можно ввести разделение запаздывающих заказов согласно количеству дней задержки.

3. Частичная отгрузка.

В случае возможности частичной отгрузки можно предложить КПЭ для сравнения количества заказов частично отгруженных вовремя и полностью отгруженных вовремя.

#### 4. Готовые изделия, произведенные заранее.

С целью уменьшения уровня запасов заказы, как правило, стараются не производить значительно раньше установленного срока. В связи с этим можно ввести КПЭ, отражающий количество, выполненное раньше срока сдачи (с учетом допустимого отклонения).

#### 5. Обнаружение задержки заказа на ранних этапах.

Отслеживание задержки заказа только на последних переделах или даже по факту производства зачастую не дает возможности эффективного разрешения возникшей ситуации. Отслеживание планируемой задержки заказа в ходе производства на всех уровнях производства, включая полуфабрикаты, предоставляет гораздо больше возможностей для решения проблемы с задерживаемым заказом.

#### 6. Уведомление клиента о планируемом уровне дисциплины отгрузки.

Может возникнуть проблема, связанная с отгрузкой в срок, когда покупатели, основываясь на предыдущем опыте, закладывают задержку выполнения при размещении заказа, и они могут оказаться не готовы к улучшению качества данного показателя. В данном случае хорошим решением было бы уведомить заказчика о планируемом изменении уровня дисциплины отгрузки (конечно, если есть уверенность, что значение этого показателя будет достигнуто).

Определение целевых показателей (КПЭ) для компании очень важный шаг. Однако гораздо более важным и более сложным шагом является введение этих показателей в культурную среду компании и мотивирование людей на всех уровнях организационной структуры следовать этим правилам.

Опыт успешных металлургических компаний позволяет сформулировать ключевые подходы к мотивации персонала, участвующего в производственном процессе.

1. Стратегические цели компании должны быть отражены в соответствующих КПЭ с соответствующим приоритетом.

2. Персонал компании на всех уровнях должен понимать выполнение этих КПЭ как стратегическую цель компании, это должно быть неотъемлемой частью культуры компании.

3. КПЭ должны быть четко определены, метод расчета понятен для всего персонала компании.

4. Персонал, который влияет на выполнение КПЭ, должен быть мотивирован на исполнение плана устно (посредством диалога с персоналом) и посредством финансовых бонусов, связанных с достижением целей.

5. Цель (план) должна быть определена на конкретный период (например, месяц) для конкретной группы людей (например, цех) и зафиксирована в начале периода. Например, показатель отгрузок в срок должен рассчитываться от изначальной даты, а не измененной несколько раз в течение периода.

6. Цель должна быть достижимой (например, использование в качестве цели тонны без привязки к конкретным заказам не является лучшей практикой).

7. Принципы финансового поощрения должны быть беспристрастны, причины невыполнения плана каким-либо сотрудником должны тщательно исследоваться.

8. В случае возможности разделения зоны ответственности за то, что (заказы, сортамент) будет производиться и как, начисление бонусов также должно быть разделено. Мотивация персонала, влияющего на то, что будет производиться, должна основываться на показателе отгрузок в срок, во втором случае – на произведенных объемах.

9. Возложение обязанностей в целом на группу сотрудников может также играть важную роль. Это объясняется тем фактом, что внутри группы работают собственные механизмы достижения совместной задачи.

В целом процесс мотивации должен базироваться на последовательном и рациональном комплексе мер, действующих на всех уровнях организационной структуры и использующих организационные процедуры, подходящих людей,

соответствующие правила и диалог с персоналом для достижения поставленных целей.

С целью дальнейшей систематизации приведенных выше процессов с точки зрения дисциплины управления цепями поставок в рамках проведенных исследований эти процессы были сопоставлены со стандартными моделями управления цепями поставок SCOR+CCOR+DCOR и GSCF.

С точки зрения дисциплины управления цепями поставок можно выделить две наиболее распространенные в мире концепции: SCOR [135,139,66,74,73,76] с расширениями CCOR и DCOR от Совета по цепям поставок – Supply Chain Council (SCC) и одноименную концепцию от Global Supply Chain Forum [122,127,135].

SCC, на сегодняшний день часть APICS, – это независимая, некоммерческая корпорация, созданная в 1996 глобальной консалтинговой компанией Pittiglio Rabin Todd & McGrath (PRTM) – сейчас входит в Price waterhouse Coopers LLP (PwC) и исследовательской компанией Advanced Manufacturing Research (AMR) из Кембриджа, Массачусетс – сейчас входит в Gartner. В начале своей деятельности в SCC входило 69 компаний, сегодня список участников насчитывает более 1000 компаний, несмотря на то, что SCOR является наиболее проработанной моделью на сегодняшний день,

GSCF под руководством доктора Дугласа М. Ламберта предоставляет возможность практикам и теоретикам исследовать критические вопросы, относящиеся к качеству клиентского сервиса и операционной эффективности независимо от специфичной функциональной экспертизы. В профессиональное сообщество GSCF входит около 14-ти ведущих международных компаний [122], признанных лидерами в своих отраслях.

Результаты сопоставления обобщения лучших практик организации бизнес-процессов планирования цепей поставок металлургических компаний со стандартными моделями управления цепями поставок приведены в таблице 6.

Для удобства практического использования процессы модели GSCF пронумерованы от 1 до 8 в соответствии с оригинальной последовательностью

[127]. Для подпроцессов стратегического уровня введен суффикс S, для операционного уровня O. Соответствующие подпроцессы стратегического и оперативного уровней пронумерованы по порядку.

Таблица 6

**Сравнительный анализ лучших практик в металлургии  
со стандартными моделями УЦП**

Уровень/ Глав- ный процесс	Подпроцессы	Модель xCOR	Модель GSCF
Проектирование цепи поставок	Проектирование цепи поставок	Проектирование цепи поставок на основе модели SCOR[74,76]	4S Выполнение заказа 1S Управление взаимоотношениями с потребителями 6S Управление снабжением
<i>Тактическое планирование</i>			
• Планирование продаж и операций	Планирование спроса	CCOR: Планирование sP1.1 Определение, задание приоритетов и агрегирование потребностей цепи поставок	1O Управление взаимоотношениями с потребителями 3O Управление спросом: прогнозирование
	Планирование цепи поставок	sP1 Планирование цепи поставок	3O Управление спросом: Синхронизация
	Квотирование продаж	sP1 Планирование цепи поставок	3O Управление спросом: Синхронизация
• Управление портфелем заказов	Управление квотами	sP1 Планирование цепи поставок	3O Управление спросом: Синхронизация
	Управление обещаниями	sD1.2 Получение, ввод и проверка заказа sD2.2 Получение, конфигурирование, ввод и проверка заказа sD1.3/sD2.3 Резервировать запасы и определить дату доставки sD3.3 Ввод заказа, выделение ресурсов, запуск программы	2O Управление обслуживанием потребителей 4O Выполнение заказа
<i>Оперативное планирование</i>			
• Календарное планирование	Производство	Разработка технологии и дизайн материала	DCOR:Дизайн 7O Управление разработкой продукции и доведением ее до коммерческого использования
		Подбор материала	sD1.3/sD2.3 Резервировать запасы и определить дату доставки sD3.3 Ввод заказа, выделение ресурсов, запуск программы 4O Выполнение заказа: Обработка заказа
		Планирование производства	sP3Планирование производства 5O Управление производственным потоком

Окончание таблицы 6			
	Планирование доставки	sP4 Планирование доставки	4O Выполнение заказа
	Планирование снабжения	sP2 Планирование снабжения	4O Выполнение заказа
• Диспетчирование (составление расписаний)	Диспетчирование производства	sM1.1 Диспетчирование производственной деятельности sM2.1 Диспетчирование производственной деятельности sM3.2 Диспетчирование производственной деятельности	5O Управление производственным потоком
	Осуществление доставки	sD1.3/sD2.3 Резервировать запасы и определить дату доставки sD3.3 Ввод заказа, выделение ресурсов, запуск программы	4O Выполнение заказа
	Диспетчирование снабжения	sS1.1 Диспетчирование снабжения	4O Выполнение заказа
Окончание таблицы 6 Оценка эффективности	Расчет показателей	sED2 Расчет показателей по доставке готовой продукции sES2 Расчет показателей по поставке сырья sEM2 Расчет показателей по производству	Подпроцесс «Оценка эффективности» соответствующих процессов GSCF

Представленный сравнительный анализ лучших практик планирования в металлургии с известными моделями управления цепями поставок определяет направления развития указанных методологий в плане их адаптации к особенностям планирования цепей поставок металлургических компаний.

1. Реорганизация связей существующих процессов планирования в соответствии с лучшими практиками планирования в металлургии

Следует отметить, что взаимосвязь процессов планирования в металлургии далеко не всегда повторяет структуру входов и выходов процессов стандартных моделей управления цепями поставок. В связи с этим представляется целесообразным ревизия указанных выходов и выходов процессов, их уточнение при необходимости.

2. Консолидация моделей CCOR, SCOR и DCOR в единой системе процессов планирования цепей поставок

На сегодняшний день несмотря на покрытие тремя моделями CCOR, SCOR и DCOR ключевых процессов управления цепями поставок [74,76] для этих моделей, тем не менее не проработана в достаточной мере их взаимосвязь.

Как видно из организации процессов планирования в соответствии с лучшими практиками в металлургии эти процессы тесно вплетены в тактический и оперативный контур планирования и не могут существовать отдельно.

Относительно модели GSCF можно отметить не всегда достаточный уровень детализации описания процессов интегрированного планирования, что вызывает сложности в практическом применении указанной модели.

3. Уточнение шагов процессов планирования, ввод дополнительных при необходимости.

Как было указано выше, GSCF отличается часто недостаточным уровнем детализации описания процессов интегрированного планирования. Модель SCOR хорошо проработана в этом плане (кроме стратегического уровня), однако ее расширения CCOR и DCOR находятся еще в процессе начального развития.

4. Формализация методов и моделей планирования.

Рассмотренные стандартные модели управления цепями поставок содержат в себе ссылки на лучшие практики интегрированного планирования, однако рассмотрение конкретных методов и моделей планирования, находятся вне их рамок. Для целей адаптации методологии планирования к особенностям цепей поставок комплексов черной металлургии целесообразна более детальная их проработка.

5. Определение требований к поддерживающим информационным технологиям.

Специфика цепей поставок комплексов черной металлургии определяет потребности в специализированной информационной поддержке.

На основании представленного во второй главе материала можно сделать следующие выводы.

Приведенная в рамках настоящей главы формализация лучших практик планирования в металлургии, а также результаты их сопоставления со стандартными моделями SCOR+CCOR+DCOR и GSCF позволили разработать основные положения подхода к интегрированному планированию цепей поставок промышленных предприятий с учетом реорганизации связей существующих процессов планирования в соответствии с лучшими практиками в металлургии; консолидации моделей CCOR, SCOR и DCOR в единой системе процессов планирования цепей поставок; уточнения шагов процессов планирования и ввода дополнительных.

### **2.3. Методология интегрированного планирования цепей поставок металлургических предприятий**

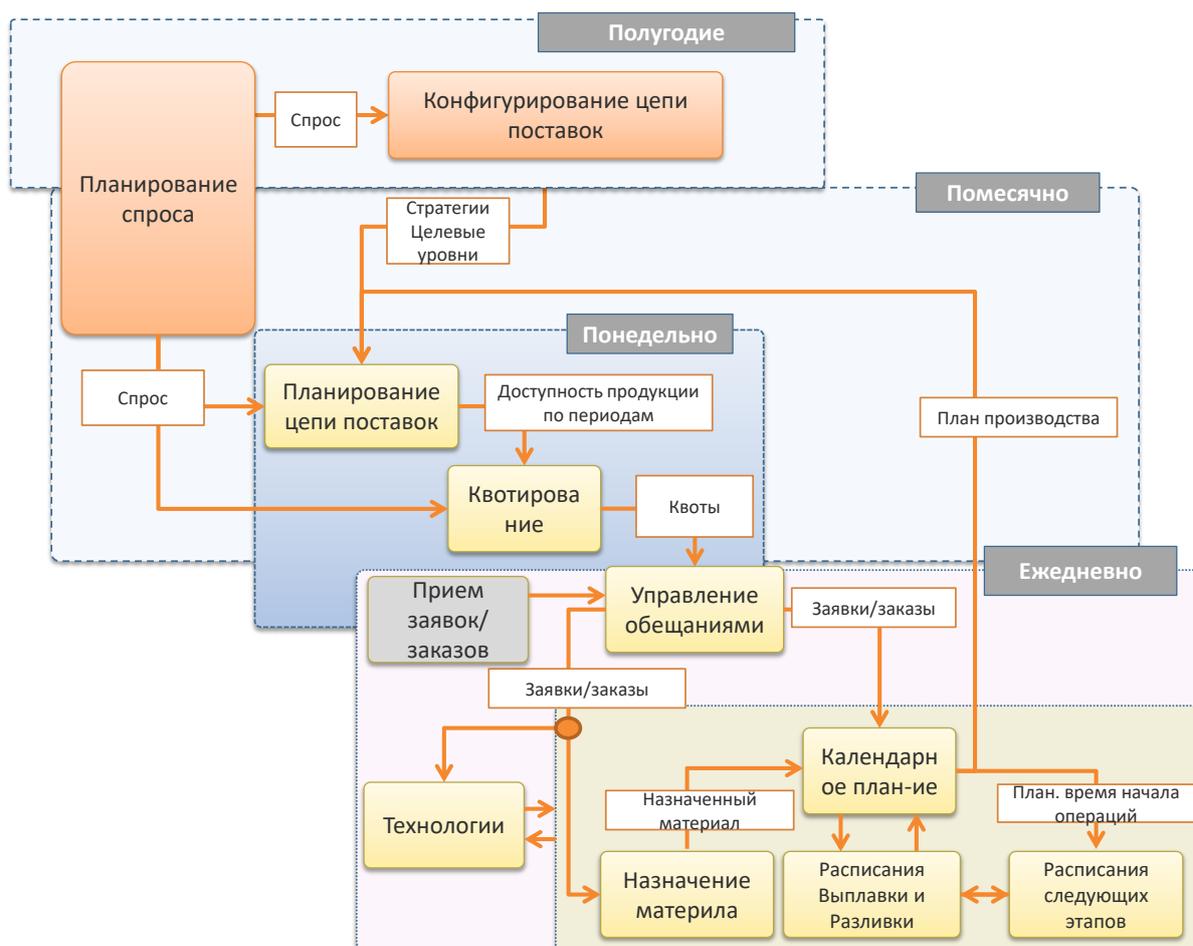
У каждого металлургического предприятия взаимодействие процессных моделей может иметь свои особенности. Тем не менее исследование опыта ведущих металлургических предприятий позволило автору систематизировать и формализовать обобщенную схему взаимодействия основных процессных моделей (рисунок 7).

Для металлургических предприятий прогноз спроса обычно строится на стратегическом (модель рынка) и тактическом уровнях (прогноз продаж компании). На оперативном уровне, как правило, предприятия уже оперируют непосредственно заказами клиентов.

Процесс конфигурирования цепи поставок определяет основные стратегии/политики руководства, а также целевые уровни ключевых показателей эффективности, которые должны быть реализованы на тактическом уровне в рамках планирования цепи поставок.

Оптимальный сортамент по периодам передается из процесса планирования цепи поставок на вход процесса квотирования для детального распределения полученных объемов по структуре сбыта. Следует отметить, что российские металлургические компании могут объединять в какой-то мере процесс планирования цепи поставок и квотирование. В зарубежных компаниях

обычно квотирование выделяется в отдельный процесс, и для него внедряется соответствующая информационная поддержка.



**Рис. 7 – Модель отношений между ключевыми процессами**

Процесс планирования цепи поставок и квотирования осуществляются ежемесячно и в некоторых случаях понедельно/подекадно. Российские компании (Северсталь, ММК, ОМК, Мечел) в основном используют ежемесячное обновление планов цепи поставок. Ведущие зарубежные компании обычно планируют как ежемесячно, так и понедельно/подекадно.

Квоты являются важной исходной информацией для ежедневного процесса управления обещаниями. В рамках проверки поступающих заявок клиентов, осуществляется их сопоставление с квотами. Это позволяет грамотно резервировать мощности цепи поставок под ключевых клиентов и маргинальные заказы.

Кроме проверки на квоты заявки клиентов просчитываются в модели календарного планирования для определения реалистичности требуемых дат отгрузки/доставки. Если на остатках есть свободный подходящий для заявки материал, то возможно привязка этого материала к заявке, тем самым достигается сокращение цикла выполнения для заявки, повышается выход годного для предприятия, снижаются запасы.

Если предприятие работает с точностью обещания до одного дня, то помимо календарного планирования целесообразно на основании планируемых дат начала операций просчитать детальные расписания выплавки и разливки, а также расписания других ключевых переделов/участков. Это позволит учесть специфические ограничения различных участков и тем самым избежать обещания нереалистичной даты выполнения заказа клиента.

Важным моментом схемы является условно непрерывный (скользящий) характер планирования. То есть в целом управление выполнением заказа осуществляется ежедневно, и горизонт календарного планирования определяется имеющимся портфелем заказов.

В следующих подразделах приводятся детализация основных процессных моделей интегрированного планирования, используя элементы модернизированной модели построения архитектуры предприятия Захмана. Каждому процессу приводится определение в виде ответов на вопросы: зачем, когда, что, как, кто. Под каждым из вопросов подразумевается следующее:

- Зачем – зависящая от данного процесса цель.
- Когда – временные характеристики процесса.
- Что – данные.
- Как – способ проведения процесса.
- Кто – организационная единица.

Первая версия модели Захмана была представлена в конце восьмидесятых. Она достаточно известна среди профессионалов. Также основные идеи этой модели в той или иной степени были использованы в

других моделях построения архитектуры предприятия. Именно это предопределило выбор в пользу этой концепции.

## **2.4. Совершенствование процесса прогнозирования спроса**

**Зачем:** определение на будущее вероятностных характеристик процессов управления цепью поставок.

**Когда:**

- Горизонт планирования: недели, месяцы, годы.
- Интервал планирования: недели, месяцы, годы.
- Периодичность перепланирования: недели, месяцы, годы.

**Что:**

- Вход:
  - исторический спрос, цены;
  - информация о маркетинговых мероприятиях.
- Выход: различные варианты прогноза развития рынка.

**Как:** процесс прогнозирования

**Кто:** Маркетинг/Сбыт

Планирование спроса определяет на будущее вероятностные характеристики процессов управления цепью поставок и является основой для расчета будущих значений таких ключевых показателей эффективности логистической сети как величина доходов, прибыль и уровень рентабельности.

Основными задачами при организации процесса планирования спроса являются:

- повышение качества формируемых прогнозов;
- согласование планов между различными заинтересованными лицами и минимизация дублирования при составлении плана спроса, четкое распределение ответственности между различными участниками процесса планирования спроса;
- балансировка планов по различным временным горизонтам.

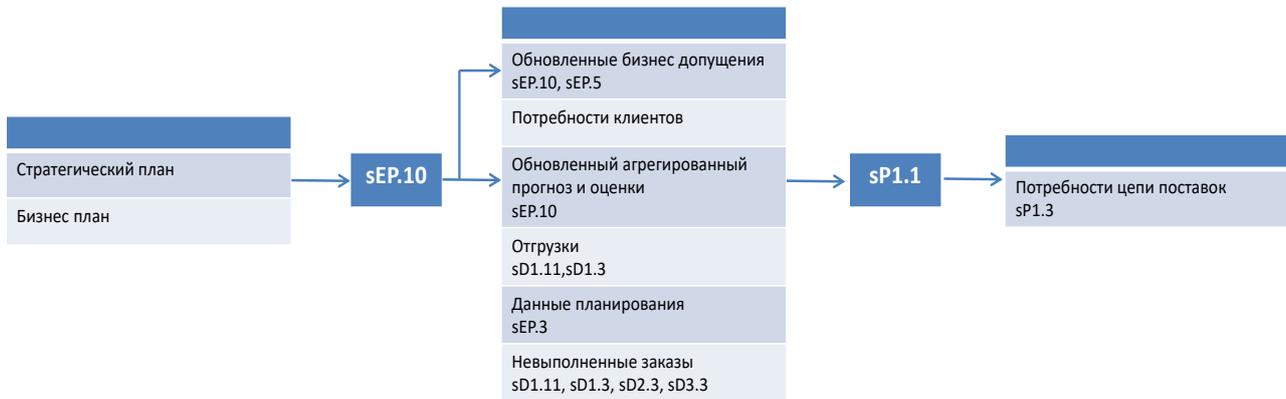
К современным проблемам планирования спроса во многих компаниях, в том числе российских, можно отнести:

- отсутствие единого процесса планирования спроса, отсутствие унификации процесса;
- применение одной методики планирования для всех продуктов и клиентов;
- недостаточная точность и адекватность используемых методик;
- отсутствие учета активностей, влияющих на спрос (промоакции, действия конкурентов, изменения макросреды и т. д.);
- отсутствие мониторинга точности плана.

За последние десятилетия были разработаны специализированные методы и технологии [135,25,30] планирования спроса в цепях поставок. В связи с наличием большого количества различных методов и подходов в этой области существует необходимость в их формализации и систематизации.

Как было сказано во второй главе настоящей работы, с точки зрения дисциплины управления цепями поставок можно выделить две наиболее распространенные в мире модели: модель SCOR от Совета по цепям поставок – Supply Chain Council (SCC) и одноименную модель от Global Supply Chain Forum.

Несмотря на то, что SCOR является наиболее проработанной моделью на сегодняшний день, в самой модели SCOR отсутствует описание процесса прогнозирования как такового. Так в SCOR прогноз является входной информацией, получаемой путем декомпозиции стратегического и бизнес-плана для процессов sP1.1 Определение, задание приоритетов и агрегирование потребностей цепи поставок и sP5.1 Оценка и агрегирование потребностей в возвратах [139]. Для процесса sP1.1 потоки данных выглядят следующим образом (рисунок 8).



**Рис. 8 – Декомпозиция прогноза для тактического планирования в SCOR**

В расширении SCOR, так называемой модели Customer Chain Operations Reference (CCOR), приведенной на рисунке 9, в рамках планирования продаж речь идет в большей степени об определении источников спроса, нежели о самом спросе. Сложности интерпретации процессов этой модели добавляет тот факт, что CCOR является наименее развитой на сегодняшний день моделью и описывает процесс продаж на самом верхнем уровне.



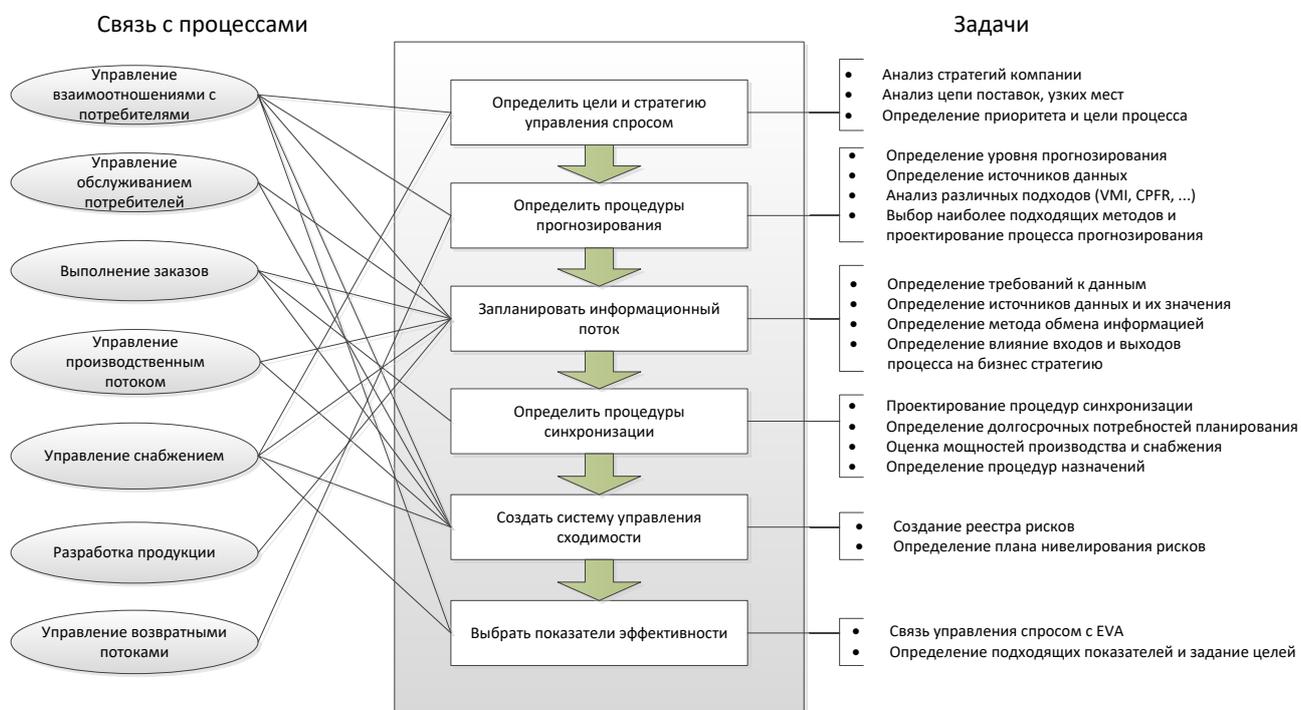
**Рис. 9 – Ключевые процессы модели CCOR**

Более проработанное описание процесса планирования спроса можно найти в модели GSCF. GSCF под руководством доктора Дугласа М. Ламберта предоставляет возможность практикам и теоретикам исследовать критические вопросы, относящиеся к качеству клиентского сервиса и операционной эффективности независимо от специфичной функциональной экспертизы. В профессиональное сообщество GSCF входит около 14-ти ведущих международных компаний [122], признанных лидерами в своих отраслях.

С точки зрения GSCF, планирование спроса (в GSCF используется термин «прогнозирование») интегрирован в процесс Управления спросом

[116,122,127,90,84] – один из восьми процессов Управления цепями поставок. Важно отметить, что согласно Ламберту Управление спросом заключается не только в прогнозировании. Этот процесс балансирует требования клиентов с возможностями цепи поставок. Таким образом, процесс Управления спросом по Ламберту можно сопоставить с той или иной степенью допущения с концепциями Планирования продаж и операций (Sales and Operations Planning) [70], Интегрированного бизнес-планирования (Integrated Business Planning), Планирования цепи поставок (sP1 по SCOR). Вопрос степени соответствия этих концепций друг другу является дискуссионным.

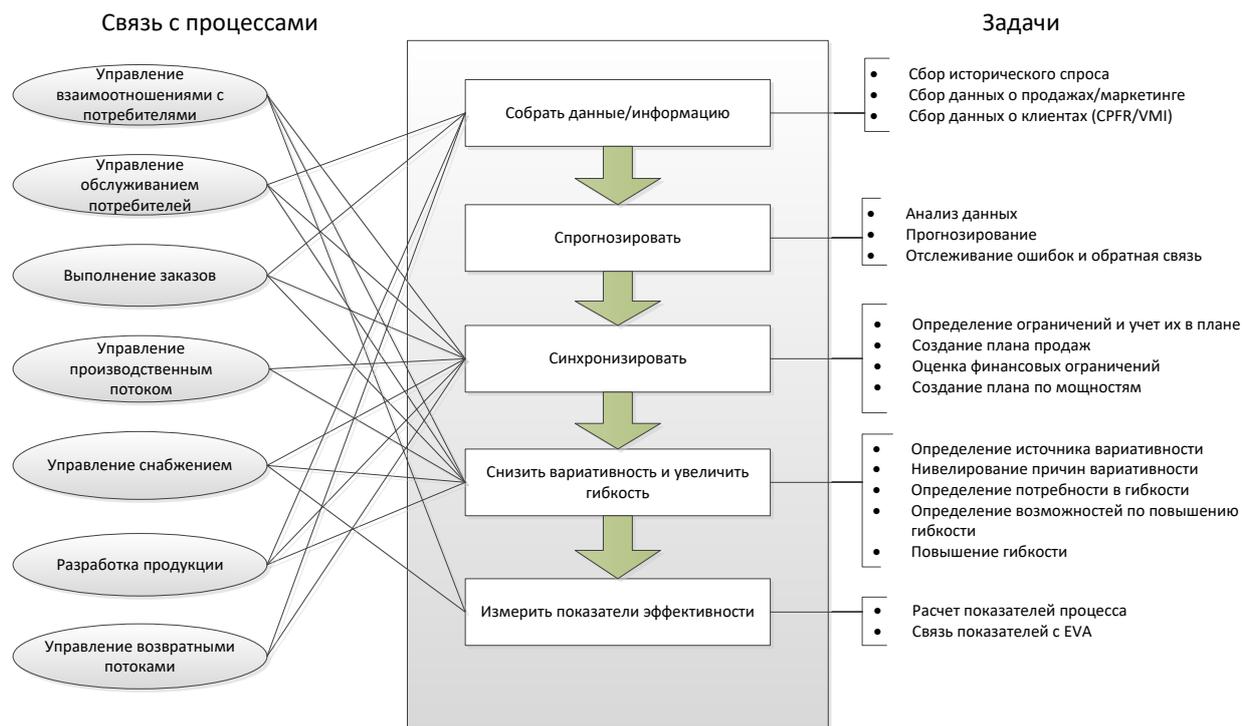
На рисунке 10 представлены основные шаги проектирования процесса Управления спросом GSCF.



**Рис. 10 – Управление спросом – проектирование процесса GSCF**

Организационные аспекты проектирования процесса планирования спроса, в частности, применение для этого практики Совместного планирования, прогнозирования и пополнения запасов (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment, CPFR)[40,67], а также Управления запасами поставщиком (Vendor Managed Inventory, VMI) [94,71] находятся вне рамок настоящего исследования.

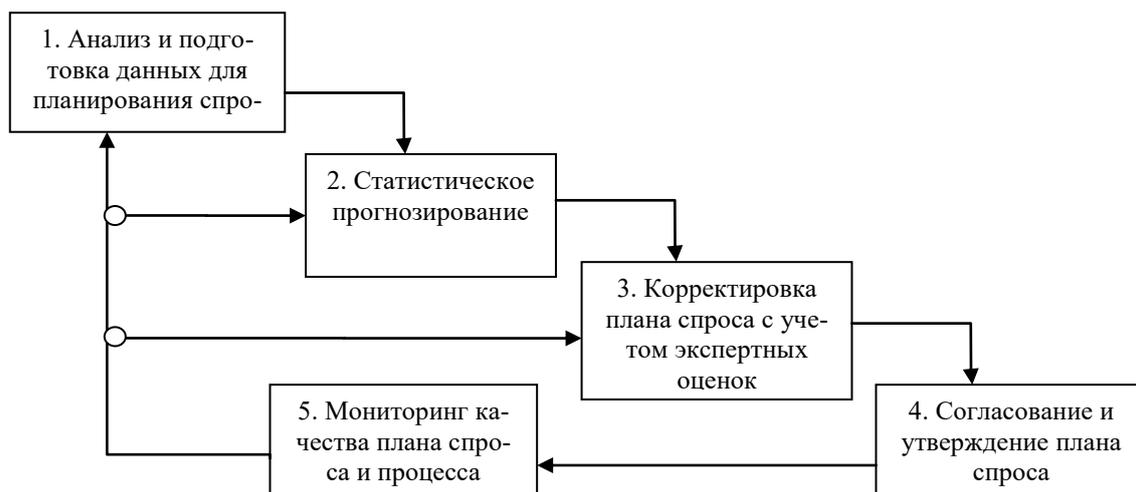
На рисунке 11 показан уже непосредственно оперативный уровень процесса Управления спросом GSCF, а именно его исполнение.



**Рис. 11 – Управление спросом – исполнение GSCF**

Как можно увидеть на рисунке 11, в рамках исполнения процесс прогнозирования состоит из трех основных шагов: анализ данных, прогнозирование, отслеживание ошибок и обратная связь.

Автором предложено уточнение процесса прогнозирования в виде взаимосвязанных шагов процедуры прогнозирования (рисунок 12). Исходный процесс прогнозирования GSCF дополнен шагом Корректировки плана спроса с учетом экспертных оценок. Также предложено выделить шаг Согласования и утверждения плана спроса.



**Рис. 12 – Основные шаги процесса прогнозирования**

В рамках анализа и подготовки данных, в том числе, выявляются и корректируются выбросы в исторических данных, осуществляется сглаживание временных рядов.

На следующем шаге, используя доступные модели, формируются статистические прогнозы на исторический период времени. Прогнозы включают в себя ожидания и оценки по имеющейся сезонности, цикличности, а также по существующим трендам в спросе. Осуществляется выбор наилучшей модели, чаще всего по критерию величины отклонения прогноза от факта. На базе выбранной модели подготавливается прогноз на будущие периоды времени.

В рамках корректировки к статистическому прогнозу добавляются оценки экспертов (пример: маркетинговые мероприятия, прогноз по новым продуктам), а также происходит работа с исключительными ситуациями, возникшими в ходе прогнозирования.

Согласование плана спроса необходимо для выработки единого понимания характера будущего спроса у всех заинтересованных лиц в цепи поставок (включая внешних контрагентов), учета дополнительной информации.

Завершающий шаг – мониторинг качества плана спроса и процесса. В рамках этого шага происходит оценка качества планов спроса и процесса

прогнозирования, вырабатываются предложения и рекомендации по непрерывным улучшениям.

При разработке и внедрении процесса планирования спроса одним из ключевых факторов успешной реализации разрабатываемой модели является разработка и поддержание в актуальном состоянии ее метаданных. На сегодняшний день не существует универсального метода проектирования метаданных процесса планирования спроса. Как правило, для этого используются экспертные оценки. При этом этот этап является одним из самых ответственных при создании процесса планирования спроса и часто может занимать достаточно продолжительное время. Практический опыт показывает, что уровень детализации метаданных оказывает существенное влияние на эффективность и жизнеспособность процесса планирования.

Следующие параграфы обобщают практический опыт разработки метаданных процесса планирования спроса и вводят его основной терминологический аппарат.

Ключевая характеристика данных процесса планирования спроса – размерность. Наиболее часто на практике встречаются следующие размерности:

- продуктовая (что продается);
- географическая (где продается продукция);
- временная (когда продается продукция);
- размерность покупателей (кто покупает продукцию);
- размерность поставщиков (кто поставяет продукцию/материалы).

Каждая размерность содержит одну или более иерархий с несколькими уровнями и представителями. Иерархия – это упорядоченное представление уровней в размерности. На рисунке 13 представлены две иерархии временной размерности: сезонная и кварталльно-месячная. Уровень иерархии – это логическая группировка схожих представителей. На рисунке в кварталльно-месячной иерархии определены следующие уровни: весь горизонт, год, квартал, месяц, дата. Для уровня «квартал» определены следующие

представители: I квартал 2015г., II квартал 2015г. и т. д. Иерархии определяют порядок агрегации/детализации данных.



**Рис. 13 – Пример организации временной размерности**

Управление данными осуществляется на пересечении выбранных представителей каждой из заданных размерностей. Пересечение каждой из размерностей (например, географической, продуктовой и временной) определяет конкретный набор данных для данного пересечения.

Следует отметить, что чем больше иерархия, тем больше времени необходимо для выполнения суммирования/детализации значений, содержащихся в таблицах. Поэтому целесообразно при проектировании создавать иерархии небольшими, насколько это возможно, выбирая между скоростью и содержанием необходимой информации.

Показателями являются абсолютные, относительные значения или индикаторы, характеризующие прошлое, настоящее или будущее. Все показатели баз данных могут быть разделены на виды: суммируемые (продажи, отгрузки и т. д.) и не суммируемые (цены, себестоимость).

Наиболее часто в качестве показателей выступают следующие характеристики: спрос, продажи/отгрузки, запасы, цены, курсы валют, промо-акции, издержки и т. д.

Для повышения качества прогнозирования необходимо определить наиболее оптимальный уровень планирования спроса (рисунок 14). Критериями при этом, как правило, служат качество прогноза и необходимая достаточность детализации для качественного планирования материальных и финансовых потоков. Для этого исторические данные с детальных уровней суммируются до заданного уровня, и строится прогноз. Результаты прогнозирования затем распространяются по всем иерархиям.



*Рис. 14 – Определение оптимального уровня прогнозирования в иерархии*

Приведенное в настоящем подразделе уточнение процесса планирования спроса в цепях поставок доказало свою практическую значимость при внедрении на ряде промышленных предприятий. Отдельно следует отметить российский опыт внедрения уточненного процесса планирования спроса в компании «Северсталь» [107].

## **2.5. Определение процессной модели конфигурирования цепи поставок**

Зачем: определение основных направлений развития цепи поставок.

Когда:

- Горизонт планирования: 1-10 лет и более.
- Интервал планирования: квартал, полугодие, год.
- Периодичность перепланирования: по необходимости, 1 раз в год.

Что:

- Вход
  - стратегия компании;

- различные варианты прогноза развития рынка;
- укрупненная модель и показатели деятельности компании за несколько лет.

- Выход

- Результат планирования: план развития цепи поставок, план инвестиций.

Как: процесс конфигурирования цепи поставок.

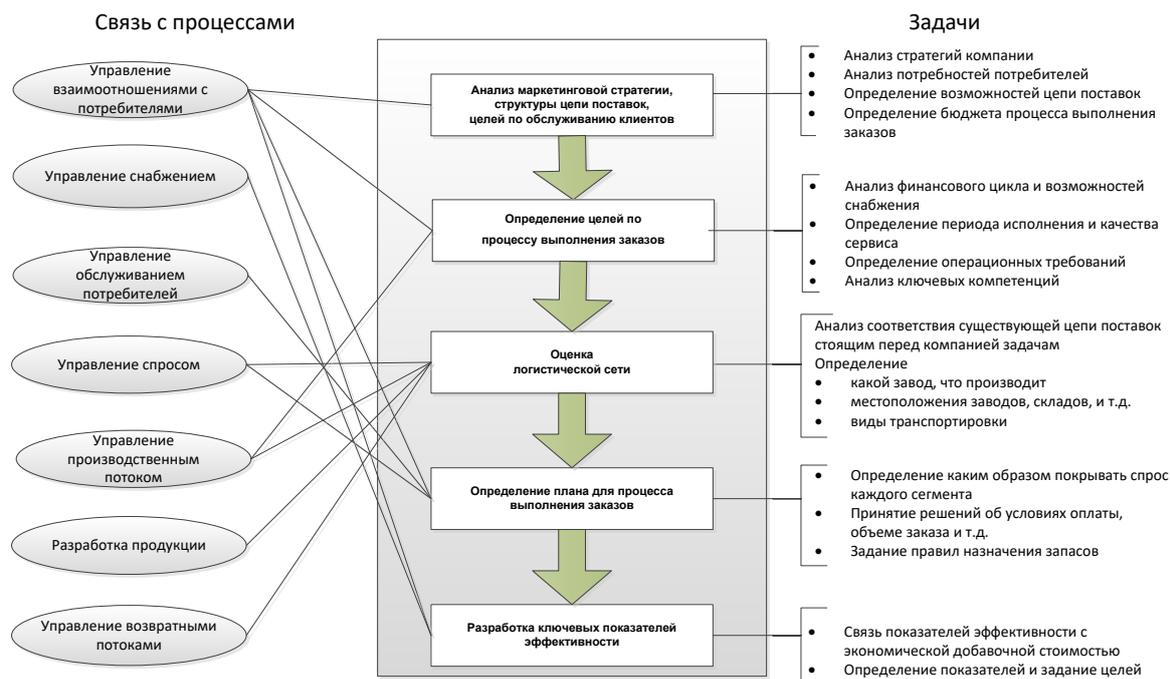
Кто: стратегическая дирекция, руководство.

Модель SCOR [69] не содержит в себе описания процесса конфигурирования цепи поставок, однако сама модель SCOR и ее инструменты могут быть использованы для этой цели. Данный подход подробно изложен в работе Сергеева В.И. [76,41]. Согласно с этим источником в общем виде этапы проектирования и оптимизации процессов в цепи поставок посредством инструментария модели SCOR можно представить следующим образом (рисунок 15):



**Рис. 15 – Этапы проектирования и оптимизации процессов в цепи поставок посредством инструментария модели SCOR**

В модели GSCF есть описание процесса конфигурирования цепи поставок, однако с меньшим уровнем детализации (рисунок 16).



**Рис. 16 – Проектирование процесса выполнения заказа GSCF**

Отсутствие описания процесса конфигурирования цепи поставок в SCOR, а также недостаточный уровень детализации процесса в модели GSCF определяет необходимость в доработке этих моделей. В качестве основы предлагается использовать подход на основе проектирования и оптимизации процессов в цепи поставок посредством инструментария модели SCOR (рисунок 15). Для конфигурации цепи поставок (II уровень) предлагается использовать подход на основе математического моделирования [137,138] в дополнении к собственным средствам графического моделирования SCOR. Предлагаемые основные этапы проекта внедрения решения по конфигурированию цепи поставок приведены на рисунке 17.



**Рис. 17 – Основные этапы проекта внедрения решения по конфигурированию цепи поставок**

В рамках этапа «детализация масштабов работ» осуществляется мобилизация проектной команды, формализуются цели и задачи проекта, готовится и утверждается детальный план проекта и матрицы рисков. Результатами этого этапа являются:

- сформированная проектная группа;
- утвержденный документ «Постановка задачи»;
- утвержденный план проекта;
- утвержденная матрица рисков проекта.

В рамках этапа «сбор данных и создание концептуальной модели» осуществляется подготовка информации по спросу, дистрибуции, транспорту, производству, закупкам и финансам; анализируются и детально выверяются данные, разрабатывается концептуальная модель цепи поставок. Для описания концепции модели цепи поставок применяются графическо-текстовые методы моделирования, в том числе инструменты моделирования SCOR (географическая карта, диаграмма потоков). Результатами этого этапа являются:

- согласованные предварительные данные, готовые для загрузки в прототип модели;
- утвержденный документ «Концепция модели цепи поставок».

В рамках этапа «создание моделей цепи поставок» осуществляется подготовка дополнительных данных на основе детальной выверки и согласованной концепции модели, разработка моделей цепи поставок, готовится техническое описание структуры модели. Результатами этого этапа являются:

- утвержденный документ «Структура модели цепи поставок»;
- протестированные на реальных данных модели.

В рамках этапа «эксперимент и сценарный анализ» анализируются и корректируются планы развития цепи поставок на основе бизнес-сценариев,

описанных в документе «Концепция модели цепи поставок»; утверждённых ключевых показателей эффективности. Результатами этого этапа являются:

- результаты сценарного и сравнительного анализа планов развития цепи поставок.

В рамках этапа «обучение пользователей» осуществляется подготовка функционального тренинга и обучение планировщиков методике сценарного анализа в решении. Результатами этого этапа являются:

- обученные работы в решении специалисты.

В рамках этапа «подготовка финального отчета» готовится отчет по результатам стратегического моделирования цепочки поставок, презентация результатов для руководства. Результатами этого этапа являются:

- отчет (на базе результатов сценарного анализа) с рекомендациями по направлениям развития цепи поставок, основанных на стратегических приоритетах.

## **2.6. Совершенствование процессной модели тактического планирования цепи поставок**

Зачем: определение портфеля заказов и сортамента производимой продукции, которые позволяют компании двигаться в заданных стратегией направлениях, обеспечение связи стратегических планов компании с более детальными оперативными планами.

Когда

- Горизонт планирования: до 18 месяцев.
- Интервал планирования: пример, ближайший месяц – в разбивке по декадам, последующий квартал – в разбивке по месяцам, далее – по кварталам.
- Периодичность перепланирования: пример, подекадно, ежемесячно.

Что:

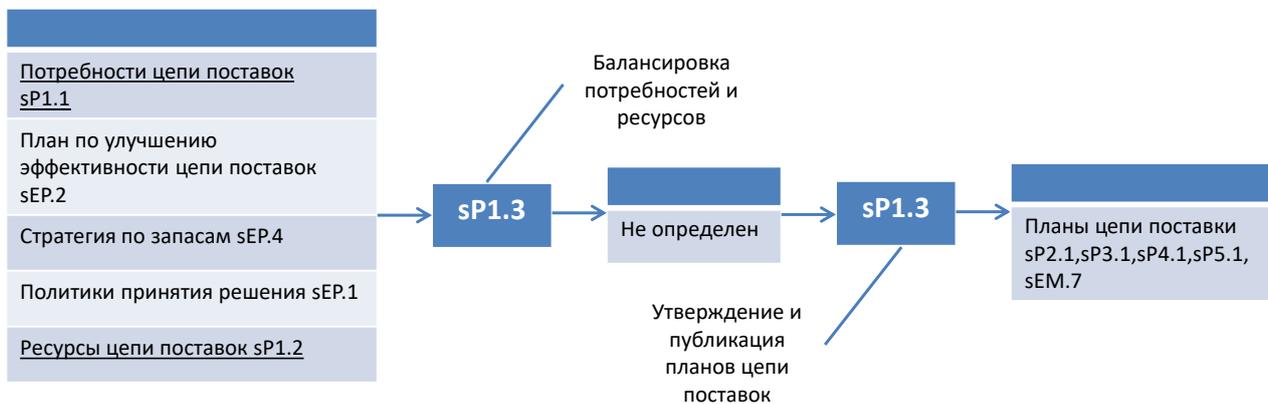
- Вход
  - портфель заказов;
  - модель цепи поставок.

- Выход
  - оптимальный сортимент и портфель заказов.

Как: процесс тактического мастер-планирования цепи поставок.

Кто: подразделения планирования.

Тактическое мастер-планирование цепи поставок в контексте модели GSCF является частью процесса Управление спросом – Синхронизация (рисунок 11) в подразделе 2.4. – «Совершенствование процесса прогнозирования спроса». Данный процесс в недостаточной мере определен для целей практического использования в планировании цепей поставок промышленных предприятий. То же самое относится и к описанию процесса «Планирование цепи поставок» (sP1 по SCOR) – рисунок 18.



**Рис. 18 – Основные шаги процесса sP1 «Планирование цепи поставок»**

В свою очередь, на сегодняшний день типовой процесс тактического планирования цепи поставок в металлургических компаниях выглядит следующим образом:

1. Создание изолированных тактических планов структурных подразделений на основании экспертных оценок, данных за предыдущие периоды (сбыт, транспортировка, производство, закупка).
2. Балансировка разработанных планов, сведение их воедино.
3. Расчет финансовых показателей сбалансированного плана.

4. В случае если финансовые показатели неудовлетворительны, возврат на второй шаг. В противном случае – публикация плана и мониторинг его исполнения.

Данная организация процесса имеет следующие недостатки:

- изолированность процессов создания планов структурных подразделений;
- длительный цикл балансировки планов структурных подразделений, экономика в последнюю очередь;
- отсутствие возможности сквозной многокритериальной оптимизации по всей цепи поставок и сценарного моделирования.

Ключевыми причинами указанных проблем является следующее:

- отсутствие эффективной методики формализации данных, необходимых для моделирования;
- отсутствие эффективной методики и инструмента оптимального тактического планирования цепи поставок предприятия.

Для металлургических компаний сложность материальных, финансовых и информационных потоков часто приводит к тому, что при планировании происходит недопустимое упрощение проблемы, и как результат страдает реалистичность и качество плана.

В целях решения этих проблем предлагается усовершенствованный процесс тактического планирования цепи поставок (рисунок 19).

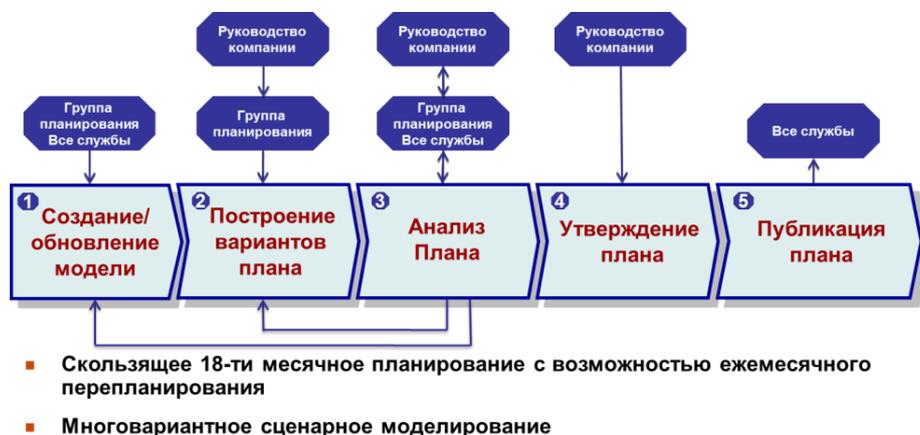


Рис. 19 – Схема тактического планирования цепи поставок

В рамках усовершенствованного процесса структурные подразделения готовят не отдельные изолированные планы, а исходную информацию, необходимую для моделирования. Данная информация включает в себя прогноз спроса, заявки/заказы клиентов, логистическую нормативно-справочную информацию и т.д.

### *Цикл планирования*

Этап 1. Создание/обновление модели.

Участники: группа планирования, все службы.

Обновление метаданных, в рамках которых готовится описание элементов цепи поставок (цеха, агрегаты; склады, металлобазы; поставщики; готовая продукция и полуфабрикаты; технологические маршруты, спецификации с расходными коэффициентами – Bill of Material; транспортные плечи). При этом описываются параметры этих элементов: характеристики агрегатов (производительность агрегатов с привязкой к продукции – тонн/час или длительность операции); ограничения складов (максимальный уровень одновременно хранимых материалов – тонн); ограничения на производство заданного сортамента и т. д.

Обновление динамических данных, в рамках которых обновляются данные по спросу на продукцию и цены (вид продукции, количество, цена); цены на сырье и возможности поставщиков (вид сырья, поставщик, цена, максимальное количество поставки, время поставки); расходы по переделу в привязке к маршруту – руб./тонну; уровень начальных, конечных, страховых запасов, если это предусмотрено; доступность агрегатов (часы) с учетом ремонтов и т. д.

Следует отметить, что набор данных будет отличаться в зависимости от выбранного подхода по моделированию прогнозного спроса и заказов. На практике широко применяют два подхода. Первый заключается в отдельном учете в рамках тактического планирования как прогнозного спроса, так и заказов. В этом случае прогнозный спрос «очищается» (в практике этот подпроцесс называется forecast netting – очистка прогноза) от заказов перед

планированием для того, чтобы избежать ситуации дублирования объемов спроса. Второй заключается в исключении из прогнозного спроса объемов заказов и в полном игнорировании этих заказов в рамках тактического планирования. В этом случае исходные данные по доступным мощностям производства для тактического планирования также корректируются – уменьшаются на величину, зарезервированную под производственные заказы в рамках процесса оперативного планирования.

Этап 2. Построение вариантов плана.

Участники: руководство компании, группа планирования.

Часто первым составляется план без учета ограничений (но с учетом критериев оптимизации). Этот план позволяет определить узкие места и потребности в дополнительных ресурсах для полного удовлетворения спроса. Затем осуществляется планирование с учетом ограничений (как жестких, так и нежестких) с заданием различных критериев оптимизации. Балансировка и оптимизация тактического плана происходит в рамках моделирования (построение вариантов планов) автоматически в специализированном инструментарии на основании заданных целевых функций и ограничений.

Стандартными отчетами по результатам моделирования являются: план продаж (продукция, количество, покупатель (или рынок) – цена); план закупки (сырье, поставщик, количество, цена); план производства (агрегат, полуфабрикат, количество); план использования оборудования (агрегат, планируемая загрузка в часах, процентах, в тоннах, отклонение загрузки от целевого уровня); план перевозок (материал, точка отправления, точка получения, количество, вид транспорта); план по запасам (место хранения, материал, количество запасов на начало интервала, пришло, ушло, остатки на конец интервала); экономические результаты деятельности (выручка, затраты, совокупная прибыль, удельная прибыль). Так же составляются аналитические отчеты: сравнение вариантов планов, анализ отклонений; сравнение план-факт, анализ отклонений.

### Этап 3. Анализ плана.

Участники: руководство компании, группа планирования, все службы.

Сформированные варианты плана анализируются с учетом нормативных показателей и согласуются со всеми заинтересованными структурами. В случае несогласования проводится корректировка планов, формирование дополнительных вариантов путем вариации нежестких ограничений и критериев оптимизации, внесения изменений в исходные данные.

Следует отметить, что по лучшим практикам процесс перепланирования технически при наличии всех данных занимает несколько минут.

Критериями оптимизации могут быть следующие параметры: удовлетворение спроса в тоннах (по слоям); минимальная/максимальная загрузка оборудования; минимизация использования альтернативных маршрутов; минимизация запасов; оптимизация прибыли; минимизация затрат; комбинация критериев.

### Этап 4. Утверждение плана.

Участники: руководство компании.

Окончательное решение в пользу наиболее целесообразного сценария развития компании на среднесрочном горизонте принимает руководство.

### Этап 5. Публикация плана.

Участники: все службы.

В результате утверждения плана он принимается в качестве целевого на заданный горизонт планирования и доводится до всех заинтересованных структур.

Опыт применения усовершенствованного процесса тактического планирования в ряде российских [46,61,43,6] и зарубежных металлургических компаний показывает, что он отличается синергией и обеспечивает получение оптимального и реалистичного плана деятельности в рамках заданных условий.

Ключевыми преимуществами усовершенствованного процесса являются:

- реалистичность и экономическая обоснованность планов;
- целостность взгляда на цепь поставок;

- оптимальность (возможности сквозной многокритериальной оптимизации);
- производительность (сокращение времени планирования, изменение баланса времени работы специалистов – увеличение доли времени на сценарный анализ планов).

Следует отметить, что обязательным условием применения описанного уточненного процесса тактического планирования является наличие адекватной поставленным целям математической модели цепи поставок компании, а также использование соответствующих алгоритмов оптимизации.

## **2.7. Развитие процесса управления обещаниями**

Зачем: предоставления клиентам реалистичных дат выполнения заказов.

Когда:

- Горизонт планирования: согласно портфелю заявок/заказов клиентов.
- Интервал планирования: недели, декады, месяцы.
- Периодичность перепланирования: по мере поступления заявок/заказов клиентов.

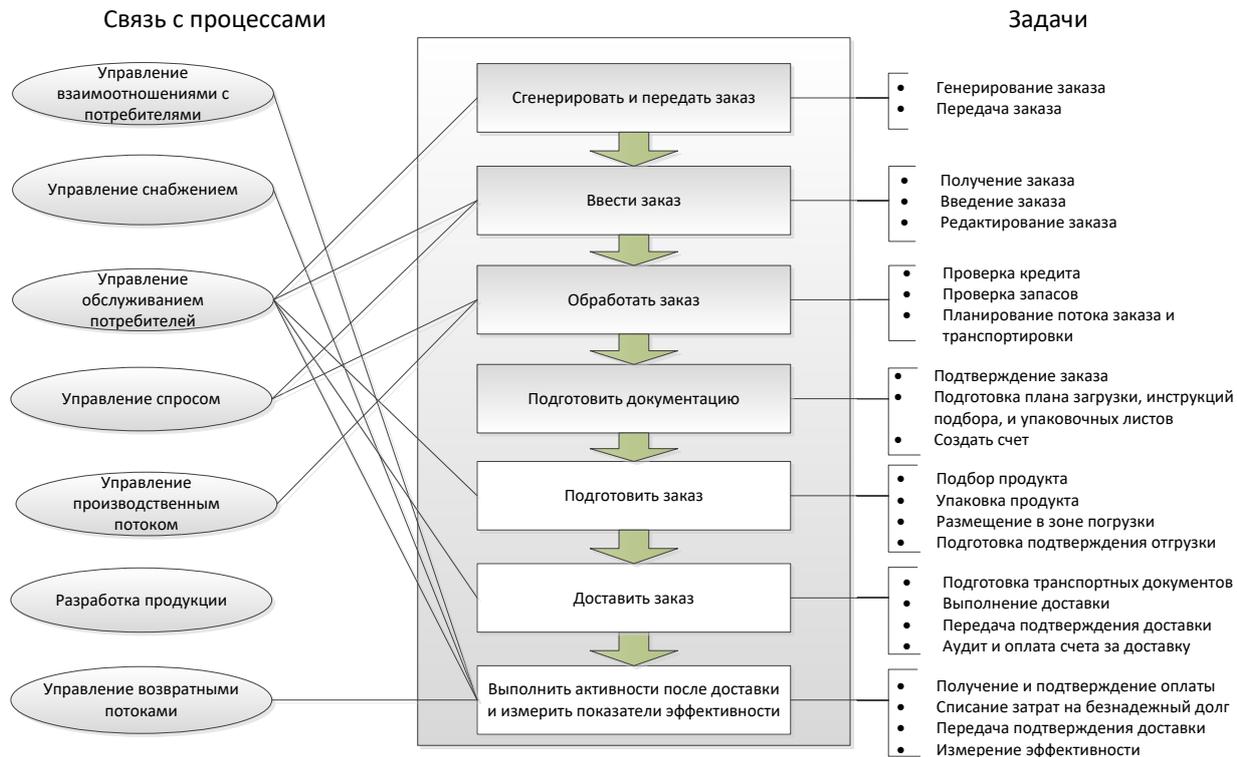
Что:

- Вход
  - портфель заявок/заказов клиентов;
  - квоты в разрезе структуры продаж;
  - модель цепи поставок.
- Выход
  - принятые заказы соответствуют квотам и имеют реалистичную дату выполнения.

Как: процесс управление обещаниями.

Кто: маркетинг/сбыт.

Процесс управления обещаниями в металлургии соотносится с рядом шагов процесса Выполнения заказов модели GSCF, отмеченные на рисунке 20 серым цветом.



**Рис. 20 – Процесс выполнения заказов GSCF**

Однако как видно из рисунка 20 данное описание носит укрупненный характер, и оно не может быть в полной мере применено на практике к особенностям промышленных предприятий без предварительной адаптации.

С другой стороны, процесс управления обещаниями в металлургии объединяет в себе ряд процессов модели SCOR: sD1.2 Получение, ввод и проверка заказа, sD2.2 Получение, конфигурирование, ввод и проверка заказа, sD1.3/sD2.3 Резервирование запасов и определение даты доставки, sD3.3 Ввод заказа, выделение ресурсов, запуск программы. Однако и здесь не в полной мере раскрыт потенциал процесса управления обещаниями. В связи с этим предлагается доработка этих процессов с учетом практики управления обещаниями в металлургической отрасли (рисунок 21).



*Рис. 21 – Уточненная модель управления обещаниями*

Ключевое отличие от классического подхода обещания даты отгрузки на основании концепции Available To Promise или даже Capable To Promise заключается в использовании полноценной актуальной модели цепи поставок для расчета возможной даты отгрузки [144]. Выполнимость запрашиваемой даты заявки подтверждается в специальном процессе, который воспроизводит полный цикл оперативного планирования. Оцениваемые заявки планируются совместно с уже подтвержденными заказами, используя наиболее актуальный

план цепи поставок. Доступность свободного материала и ограничения участка выплавки также учитываются в процессе детального подтверждения.

Напомним, что концепция Available To Promise учитывает доступные материалы и предполагает бесконечные производственные мощности. Capable To Promise учитывает как материалы, так и мощности. Однако мощности в модели Capable To Promise представлены только узкими местами цепи поставок в виде, к примеру, доступных машиночасов и они не учитывают всей реальной сложности материальных потоков в цепи поставок. Узкими местами могут быть прокат, покрытие или другие участки цепи поставок.

В связи со значительным упрощением, принятым в этих двух концепциях, страдает точность даты обещания. Стремительное развитие информационных технологий позволило предложить усовершенствованный подход (рисунок 21), отличающийся большей точностью.

## **2.8. Совершенствование процесса оперативного планирования цепи поставок и контроля исполнения**

Зачем: обеспечение заданного качества выполнения сроков отгрузки одновременно с обеспечением минимальных запасов, максимальной пропускной способности, балансировки и синхронизации цепи поставок.

Когда:

- Горизонт планирования: согласно портфелю заказов клиентов.
- Интервал планирования: переменный – сутки/неделя/декада.

Увеличивается с удалением от даты планирования.

- Периодичность перепланирования: ежедневно или несколько раз в день.

Что:

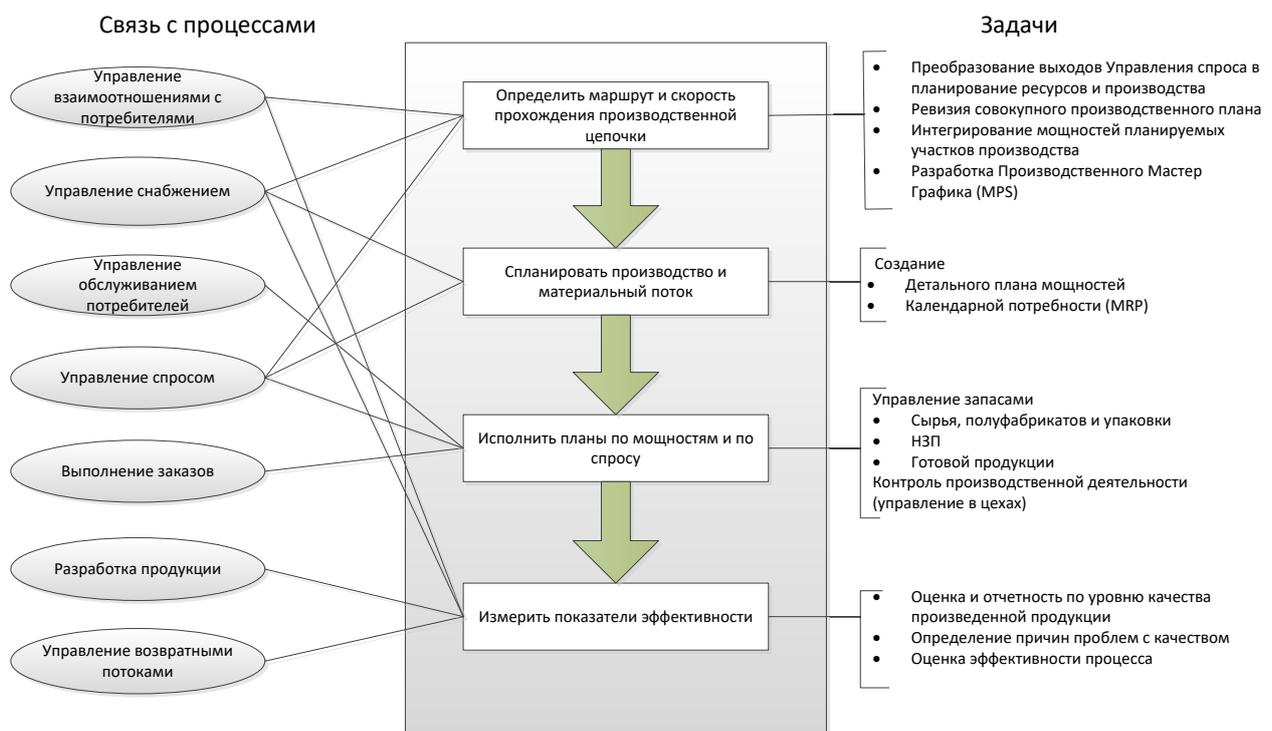
- Вход
  - портфель заказов и расписание отгрузки;
  - детальная модель цепи поставок;
  - расписание ремонтов и производственных компаний;

- данные об НЗП и движении металла по переделам.
- Выход
  - оперативные планы и планы отгрузки.

Как: процесс оперативного планирования цепи поставок.

Кто: подразделения планирования.

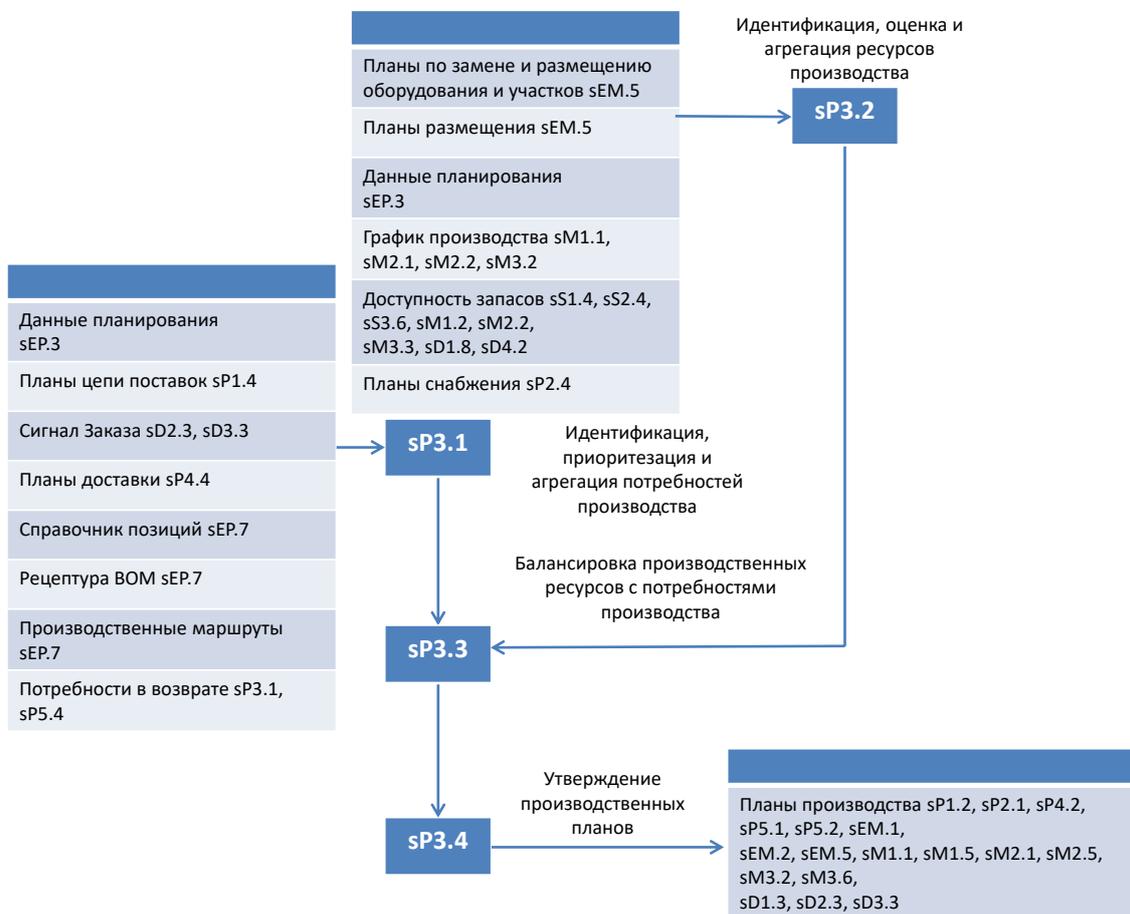
Оперативное планирование цепи поставок и контроль исполнения в контексте модели GSCF частично описывается в процессе Управления производственным потоком (рисунок 22). Как и в случае с тактическим планированием цепи поставок данный процесс в недостаточной мере определен и не учитывает последние разработки в рассматриваемой области для целей практического использования в планировании цепей поставок промышленных предприятий.



**Рис. 22 – Процесс управления производственным потоком GSCF**

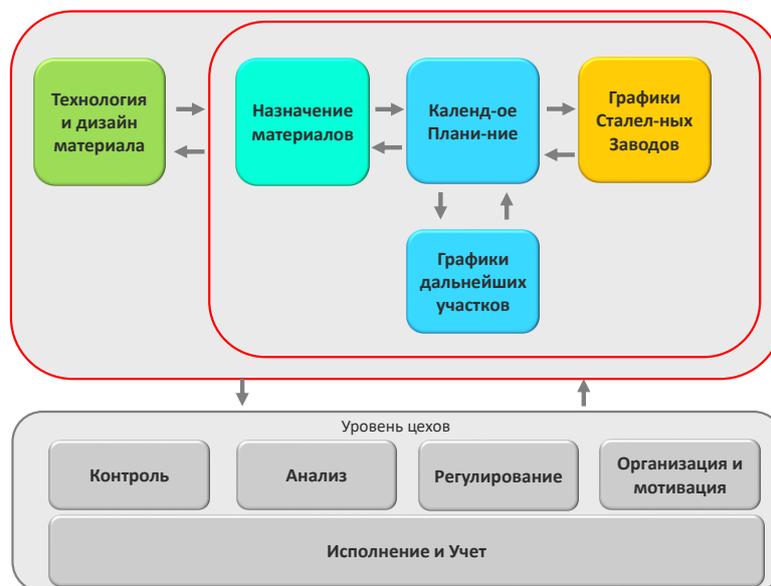
В частности, можно отметить, что процесс планирования производства в GSCF построен на элементах концепции ERP системы и не учитывает последние достижения в области разработки процесса планирования цепи поставок на базе АСП ЦП.

Замечание о недостаточной детализации можно отнести и к описанию процесса оперативного планирования производства в модели SCOR, хотя в случае с этой моделью можно отметить значительную детализацию и проработку рассматриваемого процесса (рисунок 23).



**Рис. 23 –sP3 Процесс планирования производства SCOR**

На практике у ряда ведущих металлургических компаний [48,49,53] процесс оперативного планирования цепи поставок на базе АСП ЦП организован следующим образом (рисунок 24).



**Рис. 24 – Процесс оперативного планирования цепи поставок на базе АСП ЦП**

Как видно из рисунка 24 технология и дизайн продукта являются важным элементом процесса оперативного планирования цепи поставок металлургических предприятий, который непосредственно вплетен в него. Этот элемент играет ключевую роль в повышении эффективности процесса планирования, в частности, в повышении гибкости, так как в том числе предоставляет планировщикам дополнительную свободу в выборе альтернативных технологических маршрутов, материалов [65].

Последовательность планирования с учетом постоянной возможности обновления технологии и дизайна продукта в общем виде выглядит следующим образом. На первом шаге осуществляется подбор и назначение свободных запасов к заказам. Далее производится расчет предварительного календарного плана для определения требований к сталелитейным заводам. На следующем шаге осуществляется группировка заказов в плавки и выстраивание их последовательности. На основании расписания выплавки и разливки обновляется календарный план цепи поставок и начинается последовательный процесс составления детальных расписаний следующих переделов/этапов с соответствующим обновлением календарного плана. Данный процесс был,

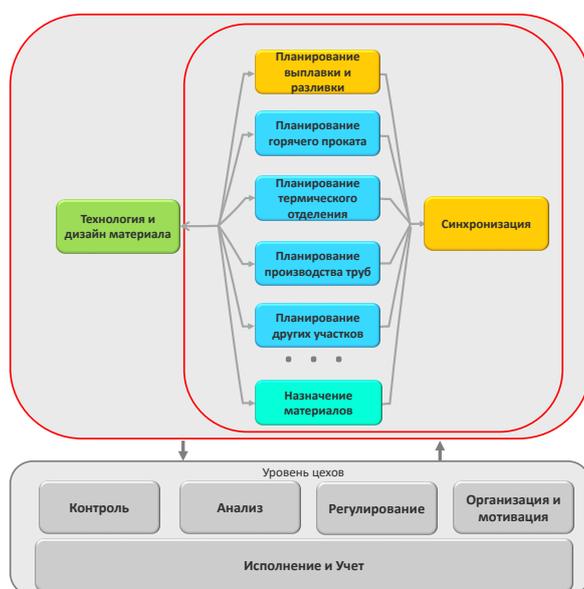
в частности, успешно внедрен специалистами LOGIS в компании Trinecke Zelezarny [49].

Несмотря на практическую значимость этого процесса, у него есть и ряд недостатков. В частности, следует отметить следующие:

*Длительность процесса планирования.* Длительность процесса планирования стремительно возрастает с увеличением количества планировщиков. Но даже с небольшим числом планировщиков возникают проблемы с поддержкой устойчивого цикла планирования и обеспечения возможностей быстрой реакции на изменяющиеся условия. Для любой группы планировщиков командная работа является ключом к высокой эффективности.

*Проблема конфликтов планировщиков,* которая оказывает негативное влияние на качество плана. Даже при небольшом количестве планировщиков количество конфликтных ситуаций может быть значительным, что отрицательно влияет на качество плана. В частности, такие конфликты приводят к потерям информации в результате непреднамеренного и невозвратимого удаления предложений разных планировщиков.

Для решения этих проблем предлагается усовершенствованный процесс (рисунок 25).



**Рис. 25 – Усовершенствованный процесс календарного планирования на базе системы планирования нового поколения**

В рамках усовершенствованного процесса календарного планирования планировщики имеют возможность работать в параллельном режиме, время от времени обмениваясь информацией между собой. Конфликты, которые не удалось решить в рамках сессии формирования предложений, разрешаются на стадии финализации плана. Этап финализации включает в себя так называемую синхронизацию, цель которой – сбалансировать предложения разных экспертов между собой. Финальная синхронизация может осуществляться автоматически, полуавтоматически или в ручном режиме. Главный планировщик является главным пользователем этого инструмента. Данный процесс на базе решения LOGIS был успешно внедрен на металлургическом предприятии TimkenSteel [48, 37].

Такая организация процесса оперативного планирования подразумевает наличие специального алгоритма для синхронизации планов различных планировщиков. Формализация указанного алгоритма приведена в Главе III, подраздел 3.4. «Развитие методов оперативного планирования цепей поставок».

На основании представленного во второй главе материала можно сделать следующий вывод. В результате проведенного исследования существующих процессных моделей планирования автором были выявлены недостатки существующих процессных моделей (SCOR, GSCF) и предложена усовершенствованная методология интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий. В частности, предложены уточнения в следующих ключевых для промышленных предприятий областях: прогнозирование спроса, конфигурирование цепи поставок, тактическое планирование цепи поставок на основе интегрированной модели, управление обещаниями в части подтверждения даты отгрузки в процессе приемки заказов клиентов на основании актуальной модели цепи поставок промышленного предприятия, оперативное планирование на базе системы планирования нового поколения. Для предложенных процессных моделей разработаны соответствующие модели и методы, облегчающие их практическое применение в условиях промышленных предприятий, приведенные в третьей главе.

## **ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

### **3.1. Формализация метода и критериев определения уровня детализации объектов и материалов модели цепи поставок**

В рамках настоящей работы автором формализованы метод и критерии определения уровня детализации объектов и материалов модели цепи поставок, позволяющие повысить качество интегрированного планирования и сократить время планирования [81].

Указанные метод и критерии базируются на следующих принципах. Объект (склад, производство, производственный ресурс) обозначался уникальной сущностью в модели цепи поставок в случае, если он:

1. являлся критическим ресурсом с точки зрения ограничений или имел уникальные характеристики, по которым было необходимо готовить отчетность в рамках процесса планирования;
2. имел альтернативные каналы поставки;
3. имел альтернативные источники снабжения;
4. мог накапливать запасы.

Для случая, когда преобразующие объекты модели объединяют в себе несколько объектов моделируемой системы (производства, производственные ресурсы), конечные характеристики объекта рассчитываются следующим образом:

- минимальное значение для производительностей;
- перемножение для расходных коэффициентов по материалу;
- расчет средневзвешенного значения с учетом расходных коэффициентов по каждой из объединяемых операций для затрат.

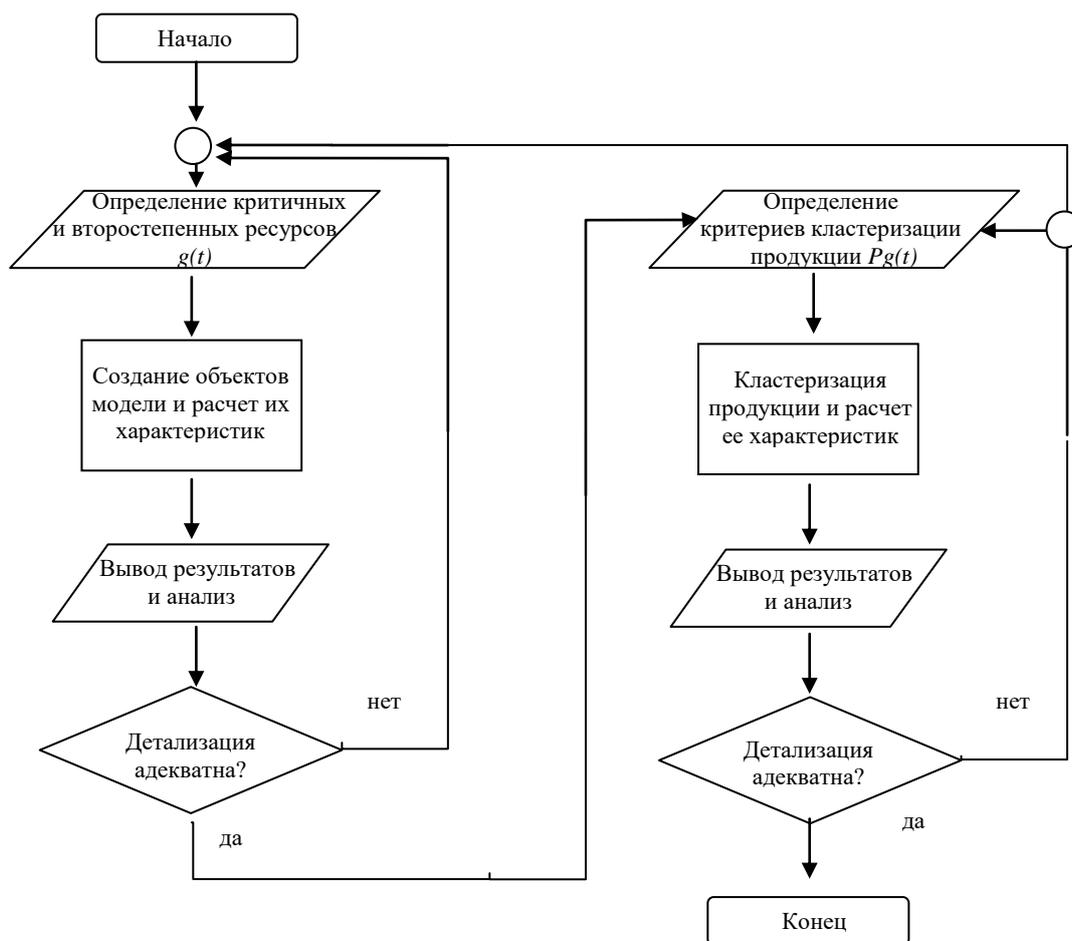
Детализация продуктовых групп определялась на основании следующих факторов:

- уровень детализации объектов цепи поставок предприятия и ключевые характеристики данных объектов в привязке к продуктам

(производительность ресурсов, выход годного продукта, стоимость производственных и транспортных операций);

- значения ключевых характеристик продуктов (себестоимость, объемные и весовые параметры, прочее).

Алгоритм определения уровня детализации объектов модели приведен на рисунке 26.



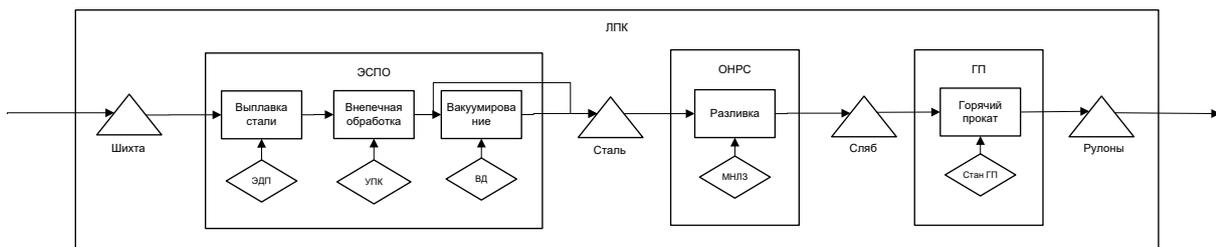
**Рис. 26 – Алгоритм определения уровня детализации объектов модели**

Рассмотрим более подробно шаг определения критичных и второстепенных ресурсов для тактической модели планирования на примере отдельной цепочки литейно-прокатного комплекса (рисунок 27).



**Рис. 27 – Производственная цепочка литейно-прокатного комплекса**

На основе анализа исторических данных (от 1 года, но не больше 3-х лет, для новых производств используется метод аналогий) группой экспертов выявляются ключевые ресурсы для моделирования. В рассматриваемом случае следующие ресурсы обладают уникальными характеристиками: электродуговая печь (ЭДП), ресурс внепечной обработки, вакууматор, машина непрерывного литья заготовки, клетки горячего проката. Такие ресурсы как туннельная печь, ресурсы охлаждения, ресурсы подогрева, катушка рулонов сами по себе не являются критическими ресурсами с точки зрения ограничений (их производительность синхронизирована с клетями горячего проката, материальный поток линейен), не требуют отдельной отчетности в рамках процесса тактического планирования. В связи с этим экспертами принимается решение об объединении всех ресурсов горячего проката в группу «горячий прокат» (рисунок 28).

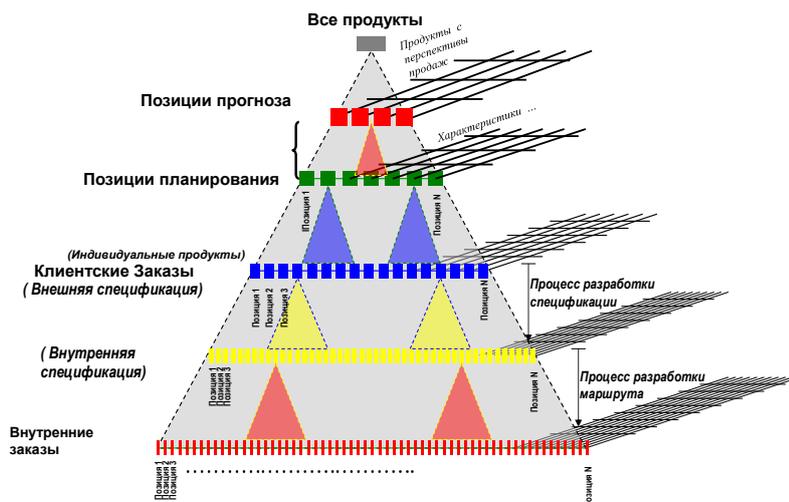


**Рис. 28 – Определение критичных и второстепенных ресурсов литейно-прокатного комплекса**

Следующими шагами алгоритма является определение критериев кластеризации продукции и кластеризация.

Необходимо отметить важность соблюдения ссылочной целостности в нормативно-справочной информации (в частности, связанной для позиций

планирования) между разными уровнями планирования. Это является важным требованием обеспечения интеграции процесса планирования (рисунок 29).



**Рис. 29 – Дерево позиций планирования**

Позиции прогноза используются соответственно для целей прогнозирования спроса. Основным критерием при их разработке является обеспечение возможности создания достаточно качественного прогноза. Позиции прогноза должны быть достаточно детальными для описания характеристик, используемых при прогнозировании, но при этом должны быть агрегированы для простоты прогнозирования с достаточной точностью.

С точки зрения клиента сложно предоставить прогнозную заявку даже на уровне позиции тактического планирования. Клиенты привыкли обмениваться прогнозной информацией на уровне общих технических требований к продукции. Задание среднесрочного прогноза по продукции с указанием толщины и ширины может быть слишком сложной задачей для них.

При этом для составления реалистичного тактического плана цепи поставок планировщикам необходимо иметь прогноз в разрезе позиций планирования. В связи с этим обычно позиции прогноза декомпозируются по долям (используя статистику или экспертные оценки) до уровня позиций планирования. Отношения уровней  $n+1$  и  $n$  должны быть один ко многим.

Позиции планирования используются для тактического планирования. Они достаточно детальны для управления квотами. Основными критериями

при их разработке являются возможность оптимизации ассортимента, возможность выполнения плана по ассортименту посредством управления квотами. Позиции планирования должны быть достаточно детальными для описания главных характеристик цепи поставок.

Позиции в клиентских заказах, а также внутренняя спецификация служат целям детального оперативного планирования цепи поставок. Основными критериями при их разработке являются возможность достаточно точного планирования загрузки ресурсов цепи поставок, сроков выполнения заказов.

Начиная с процесса непрерывной разливки, полуфабрикаты могут различаться в зависимости от позиции планирования. Для представления материального потока между предыдущими и следующими операциями требуется также определить позиции полуфабрикатов для тактического и оперативного планирования. Следует подчеркнуть, что несколько позиций планирования могут использовать одинаковые позиции полуфабрикатов, так как их операции вверх по цепочке могут быть одинаковыми.

В алгоритме (рисунок 26) можно выделить следующую процедуру кластеризации продукции:

1. Создание/обновление матрицы заказов и маршрутов. Выбор критериев кластеризации экспертами (пример: целевое назначение продукции).
2. Первичное разделение позиций на кластеры на основании целевого назначения с точки зрения потребления, определение позиций планирования для заказов с общими маршрутами (рисунок 30).
3. Если целевое значение числа кластеров групп продукции достигнуто, завершение процедуры в противном случае – возврат на шаг 1.

		Маршрут				
		МНЛЗ	Слитки	ГП1	ГП2	
Заказы	01	X		X	X	Позиция_1
	02	X		X	X	
	03		X	X	X	Позиция 2
	04		X	X	X	
	05		X	X	X	

*Рис. 30 – Матрица заказов и маршрутов для кластеризации продукции*

Для металлургических предприятий накоплена следующая статистика кластеризации позиций, которая может использоваться для целей проведения бенчмаркинга (таблица 7).

Таблица 7

### Статистика кластеризации позиций

	Опыт предприятий					
	1	2	3	4	5	6
Позиция прогнозирования, шт.	89	-	-	-	250	~40
Позиция тактического планирования, шт.	359	124	37	1,000	500	~800
Позиция оперативного планирования, учета, шт.	29 400	-	~35 000	25 400	>100k	~25 000

Основные положения приведенного метода и критерии определения уровня детализации объектов и материалов модели цепи поставок были использованы при разработке тактических моделей цепей поставок, в частности, в ОМК, ММК, показали свою эффективность и рекомендованы к применению при разработке моделей планирования промышленных предприятий.

### 3.2. Совершенствование метода прогнозирования спроса в цепях поставок металлургических компаний

Методы планирования спроса можно разделить на три основные категории:

- методы анализа временных рядов (на основе внутренней информации о спросе);
- причинно-следственные (на основе внешних факторов);
- качественные/субъективные (используются мнения экспертов, потребителей и целевой аудитории).

Методы анализа временных рядов предполагают, что будущее исследуемой характеристики может быть предсказано на основе ее поведения в прошлом и настоящем. Наиболее часто в практике планирования спроса используются следующие модели и их модификации:

- скользящее среднее;
- модель Кростона для моделирования редких продаж;
- простое, двойное и тройное экспоненциальное сглаживание;
- байесовские методы;
- модели на основе использования спектров Фурье;
- сезонная декомпозиция на основании методов Census I и Census II;
- модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (модель Бокса-Дженкинса);
- нейронные сети.

Выбор той или иной категории методов и выбор конкретных моделей определяется:

- характером спроса (поведением данных во времени);
- целями и горизонтом прогнозирования;
- доступностью и надежностью данных;
- наличием бюджета (временного, ресурсного);
- требованиями к точности прогноза.

В основе причинно-следственных методов лежит класс регрессионных моделей. Регрессионные модели занимаются поиском корреляции между переменными внешней среды и исследуемой величиной. Простейшим примером может служить определение зависимости курса доллара в рублях от

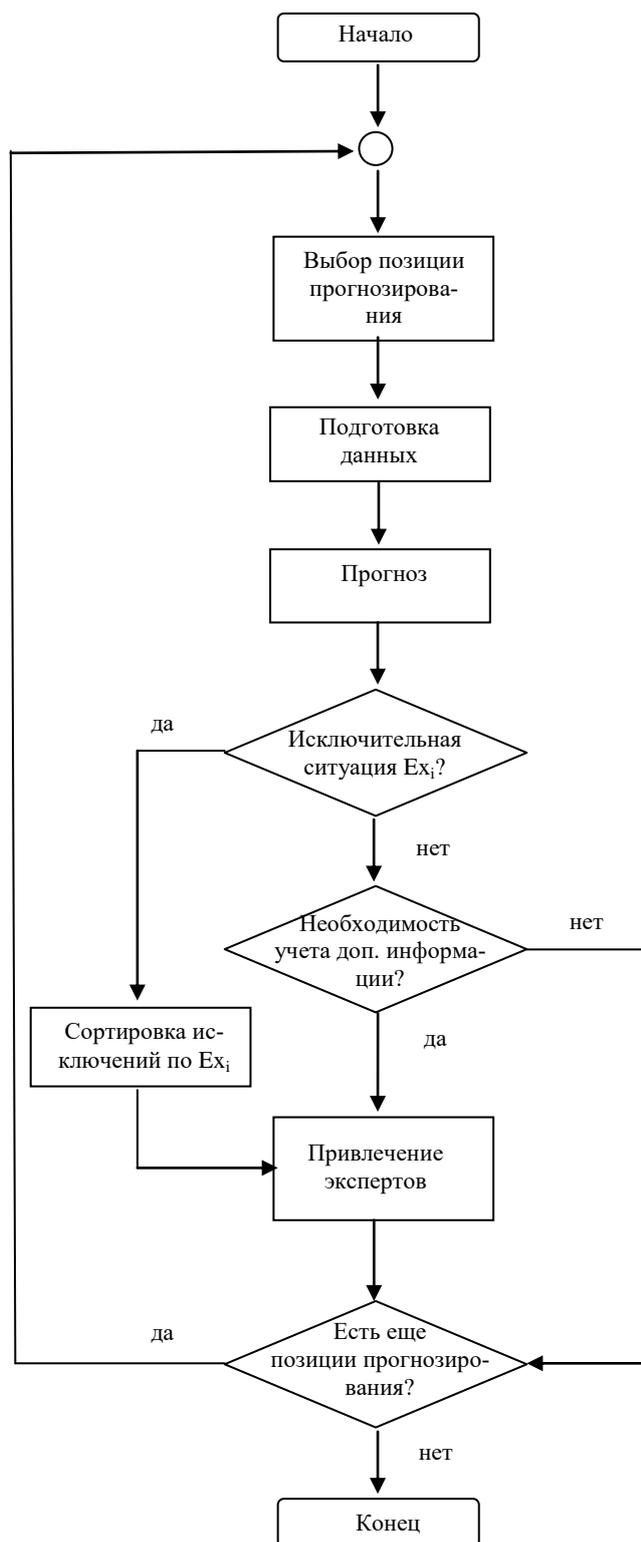
нефтяных котировок. Наиболее часто на практике используются следующие модели:

- линейная регрессия;
- множественная линейная регрессия.

Качественные/субъективные методы предполагают использование экспертных оценок:

- метод Дельфи – получение согласованного мнения от группы экспертов;
- метод аналогий – сравнение с поведением похожего продукта;
- прогнозирование технологических трендов – анализ качественных изменений в развитии технологий;
- проведение маркетинговых опросов;
- метод коллективного генерирования идей.

Детализация и дальнейшее углубленное изучение хорошо известного процесса прогнозирования позволили автору сформулировать усовершенствованную процедуру контроля качества прогнозов на основе анализа исключительных ситуаций. Суть усовершенствованной процедуры, разработанной автором, заключается в применении методов анализа временных рядов и причинно-следственных методов для статистического прогнозирования в автоматическом режиме. Привлечение экспертов (качественные/субъективные методы) требуются только при возникновении исключительной ситуации, а также в случае необходимости учета дополнительной информации в прогнозе (рисунок 31). Сортировка прогнозных позиций на основании количества исключительных ситуаций позволяет сфокусировать внимание планировщика на наиболее значимых ситуациях.



**Рис. 31 – Усовершенствованная процедура контроля качества прогнозов на основе анализа исключительных ситуаций**

Анализ литературы и эмпирические исследования позволили автору выделить и систематизировать следующий список исключительных ситуаций  $E_{x_i}$ :

1. значительные величины ошибок прогнозирования;
2. смещенные прогнозы;
3. большие изменения прогноза;
4. смещение прогноза к нулю;
5. необычный спрос, выбросы;
6. чрезмерные ручные корректировки, не приводящие к снижению ошибки.

На шаге сортировки исключений позиции прогноза сортируются по их совокупному количеству исключений (от большего к меньшему), которые также могут иметь весовые коэффициенты для управления значимостью каждого исключения.

#### *Оценка ошибки прогноза*

Оценка ошибки прогноза осуществляется путем сравнения фактических значений с прогнозом на выбранном интервале времени и выражения результата в абсолютном или относительном (в процентах) виде. Часто применяются следующие показатели:

- средняя ошибка (Mean Error – ME);
- средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error/Deviation – MAE/MAD);
- средняя процентная ошибка (Mean Percent Error – MPE);
- средняя процентная абсолютная ошибка (Mean Absolute Percent Error – MAPE);
- среднеквадратичная ошибка  $\sigma$  (Root-Mean-Square Deviation – RMSD).

Формулы для указанных показателей можно без труда найти в открытых источниках и специализированной литературе [135].

#### *Выявление фактов смещенного прогноза*

Под смещенными понимаются прогнозы, которые ниже или выше фактических данных на протяжении определенного непрерывного периода времени.

Смещение выявляется путем анализа значений параметра Т-сигнала (3.1).

$$Ts_n = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)}{MAD_n}, \quad (3.1)$$

где:

$n$  – порядковый номер анализируемого периода;

$Ts_n$  – значение Т-сигнала для периода  $n$ ;

$x_i$  – исследуемая величина в  $i$ -ый период;

$\hat{x}_i$  – прогноз исследуемой величины в  $i$ -ый период;

$MAD_n$  – средняя абсолютная ошибка для периода  $n$ .

Если прогноз смещен выше или ниже фактических данных, кумулятивная ошибка начнет увеличиваться/уменьшаться, при этом средняя абсолютная ошибка останется прежней. Это приведет к росту абсолютного значения Т-сигнала.

#### *Выявление фактов нестабильного прогноза*

Под стабильностью прогноза понимается низкая вариативность прогнозных величин для рассматриваемого периода, сделанных в разные моменты времени.

Стабильность прогноза может быть оценена по формуле (3.2).

$$St_n = \frac{\hat{x}_{n,t-1}}{\hat{x}_{n,t}}, \quad (3.2)$$

где:

$n$  – порядковый номер анализируемого периода;

$St_n$  – показатель стабильности прогноза для периода  $n$ ;

$\hat{x}_{n,t}$  – прогноз исследуемой величины для  $n$ -го периода, сделанный в итерацию прогнозирования  $t$ ;

$\hat{x}_{n,t-1}$  – прогноз исследуемой величины для  $n$ -го периода, сделанный в итерацию прогнозирования  $t-1$ .

Существенные отклонения от 1 целесообразно проанализировать.

### *Нулевые прогнозы*

К нулевым статистическим прогнозам приводят, как правило, следующие причины:

- неверный коэффициент тренда в модели;
- неверный период для расчета тренда (слишком большой/слишком малый);
- неверный коэффициент корректировки тренда.

Подобные ситуации необходимо отслеживать и своевременно принимать необходимые меры.

### *Необычный спрос, выбросы*

К необычному спросу/выбросам на практике часто относят значения спроса, которые больше чем заданное максимальное значение  $\sigma$ . Обычно используется пороговое значение  $2\sigma$ , которое покрывает примерно 95% данных.

### *Выявление большого объема ручных изменений*

Хорошей практикой является оценка влияния ручных корректировок экспертов по сравнению с базовыми результатами прогнозирования статистической модели (3.3).

$$Est = \frac{MAD^* - MAD}{MAD} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

где:

$Est$  – показатель качества экспертных оценок;

$MAD^*$  – средняя абсолютная ошибка статистической модели;

$MAD$  – средняя абсолютная ошибка экспертных оценок.

Нередко так случается, когда ручные изменения прогноза ухудшают его. Мониторинг качества оценок экспертов может выявить подобные случаи.

В рамках усовершенствованного метода хорошей практикой является:

- подсчет числа исключений в каждой категории;

- анализ трендов и значений исключений;
- концентрация на исключениях, которые в наибольшей степени влияют на конечный прогноз.

Применение усовершенствованного метода прогнозирования позволяет избавить планировщиков от рутинных операций процесса, предоставив им максимальное время на интеллектуальную работу с неподдающимися статистическому прогнозированию позициями прогноза. Такой подход ведет к повышению эффективности и качества процесса прогнозирования. Данный метод был успешно опробован на ряде международных и российских металлургических предприятий. В частности, метод использовался в рамках пилотного внедрения системы управления спросом в компании «Северсталь» [107].

### **3.3. Конфигурирование цепи поставок и тактическое планирование с использованием методов математического моделирования**

За последние десятилетия были разработаны специализированные методы и технологии [14,22,43,50,52,59,8,9,10,11] моделирования цепей поставок с одновременным учетом производственных, ресурсных, дистрибуционных и других ограничений. Одним из основных назначений этих методов и технологий является информационная поддержка интегрированного планирования цепей поставок. В связи с наличием большого количества различных методов и подходов в этой области существует необходимость в их систематизации.

Как и любое планирование, интегрированное планирование цепи поставок начинается с моделирования. Одно из определений модели звучит следующим образом. Модель – это система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе, это упрощённое представление реального устройства и/или протекающих в нём процессов, явлений.

Таким образом, модель цепи поставок это упрощенное представление реальной цепи поставок состоящее из:

- объектов цепи поставок, включающих производства, складские комплексы, рынки сбыта, поставщиков;
- плеч, связывающих эти объекты;
- процессов преобразования/передачи и ресурсов (производство, транспортировка);
- товароматериальных ценностей и финансов, формирующих материальные и финансовые потоки;
- параметров модели и ограничений.

Важнейшими требованиями к любой модели являются [109]:

- адекватность, то есть соответствие модели исходной реальной системе и учет, прежде всего, наиболее важных качеств, связей и характеристик;
- точность, то есть степень совпадения полученных в процессе моделирования результатов с заранее установленными, желаемыми.
- универсальность, то есть применимость модели к анализу ряда однотипных систем в одном или нескольких режимах функционирования;
- целесообразная экономичность, то есть точность получаемых результатов и общность решения задачи должны увязываться с затратами на моделирование.

Таким образом, определение наиболее важных качеств, связей и характеристик модели на этапе формализации проблемы во многом является одним из определяющих факторов успешного моделирования.

Процесс моделирования состоит из следующих основных шагов: создание модели цепи поставок, оптимизации параметров модели и интерпретация результатов (рисунок 32).



**Рис. 32 – Процесс моделирования**

Оптимизация модели – это нахождение наилучшего решения в рамках существующих ограничений по заданным критериям: максимальная прибыль, максимальный доход и т. д. В зависимости от вида модели подбирается наиболее подходящий алгоритм оптимизации.

Рассмотрим более подробно основные виды моделей. На рисунке 33 приведена базовая классификация моделей.



**Рис. 33 – Базовая классификация моделей**

### *Эвристические модели*

Наиболее распространенными моделями в мире являются умозрительные или эвристические модели. Они почти всегда предшествуют всем другим видам моделей. Эвристическими методами оптимизации называются логические приемы и методические правила научного исследования и изобретательского творчества, которые способны приводить к цели в условиях неполноты исходной информации и отсутствия четкой программы управления процессом решения задачи [44].

Для случая цепей поставок металлургических предприятий сложность материальных потоков приводит к тому, что зачастую при планировании происходит недопустимое упрощение проблемы и как результат страдает реалистичность и качество плана. Именно поэтому в конечном итоге умозрительные модели формализуются в виде описательных или реже физических моделей.

#### *Текстовые и графические модели*

Процессные модели сочетают в себе характеристики текстовых и графических моделей. Наиболее перспективной текстово-графической моделью в контексте планирования цепей поставок промышленных предприятий является модель SCOR. Подход по использованию процессов и инструментов SCOR для целей конфигурирования цепи поставок, проведения аудита подробно изложен в работе Сергеева В.И. [76]. Большим преимуществом данного подхода является наглядность, использование единой методологической базы. Основным недостатком является сложность поиска оптимальных решений. В связи с этим для нахождения оптимальных решений этот подход целесообразно комбинировать с математическим моделированием. На сегодняшний день в области интегрированного планирования цепей поставок наибольшее распространение получили методы имитационного моделирования и математического программирования [7,31, 95,108,109,126,142].

#### *Имитационное моделирование*

В настоящее время для исследования очень сложных экономических систем широко применяются методы имитационного моделирования [31,32,33]. Имитационная модель – это описание изучаемой системы с помощью адекватных ей алгоритмов функционирования системы под влиянием внешних и внутренних возмущений. Существует три основных метода имитационного моделирования: системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование.

К имитационному моделированию обычно прибегают в тех случаях, когда зависимости между элементами моделируемых систем настолько сложны и неопределенны, что они не поддаются формальному описанию с помощью аналитических моделей. Т.е. помимо сознательного выбора исследователя в пользу имитационного моделирования можно сказать, что имитационное моделирование используется, когда аналитические методы либо неприменимы, либо неприемлемы (из-за сложности соответствующих моделей) [109].

При имитационном моделировании динамические процессы системы-оригинала подменяются процессами, имитируемыми моделирующим алгоритмом в абстрактной модели, но с соблюдением таких же соотношений длительности, логических и временных последовательностей, как и в реальной системе.

Методы имитационного моделирования применяют для решения задач на всех уровнях планирования от стратегического до оперативного. Следует отметить, что возможности по моделированию сложных систем позволяет применять их для решения задач планирования даже там, где использование аналитических методов нецелесообразно в связи, например, с высокими затратами времени для нахождения оптимального решения. В качестве примера можно привести задачи оперативного планирования комплексных производственных цепей поставок. Сложность, неопределенность, изменчивость реальных логистических процессов на этом уровне приводит к тому, что для планировщиков в первую очередь требуется найти приемлемые варианты реалистичного плана деятельности в короткие сроки, нежели чем добиваться нахождения математического оптимума каждый раз, когда возникает необходимость обновления данных плана.

При наличии большого количества достоинств настоящего метода моделирования при решении широкого круга задач, необходимо отметить его недостатки [109]:

- отсутствие хорошо структурированных принципов построения имитационных моделей, что требует значительной специальной проработки каждого конкретного случая ее построения;
- методологические трудности поиска оптимальных решений;
- повышенные требования к быстродействию ЭВМ, на которых имитационные модели реализуются;
- сложность анализа и осмысления результатов, полученных в результате вычислительного эксперимента;
- достаточно большие затраты времени и средств, особенно при поиске оптимальных траекторий поведения исследуемой системы.

### *Математическое программирование*

Математическое программирование уже на протяжении многих лет успешно применяются в промышленности, сельском хозяйстве, логистике, системе здравоохранения [7,95,54,108,109,126,142].

Широкое прикладное распространение в моделировании экономических систем получили методы линейного и смешанного целочисленного программирования.

Математическая модель любой задачи линейного и смешанного целочисленного программирования включает: целевую функцию, оптимальное значение которой (максимум или минимум) требуется отыскать; ограничения в виде системы линейных уравнений или неравенств; требование неотрицательности переменных. Ключевыми особенностями этих методов является: детерминированность; динамичность; оптимальность.

В практике организации процесса регулярного стратегического и тактического планирования эти методы являются наиболее распространенными.

Для целей тактического планирования цепи поставок металлургических предприятий, однако, целесообразно применение научного метода декомпозиции. Данный научный метод позволяет, используя структуру задачи, заменить решение одной большой задачи решением серии меньших

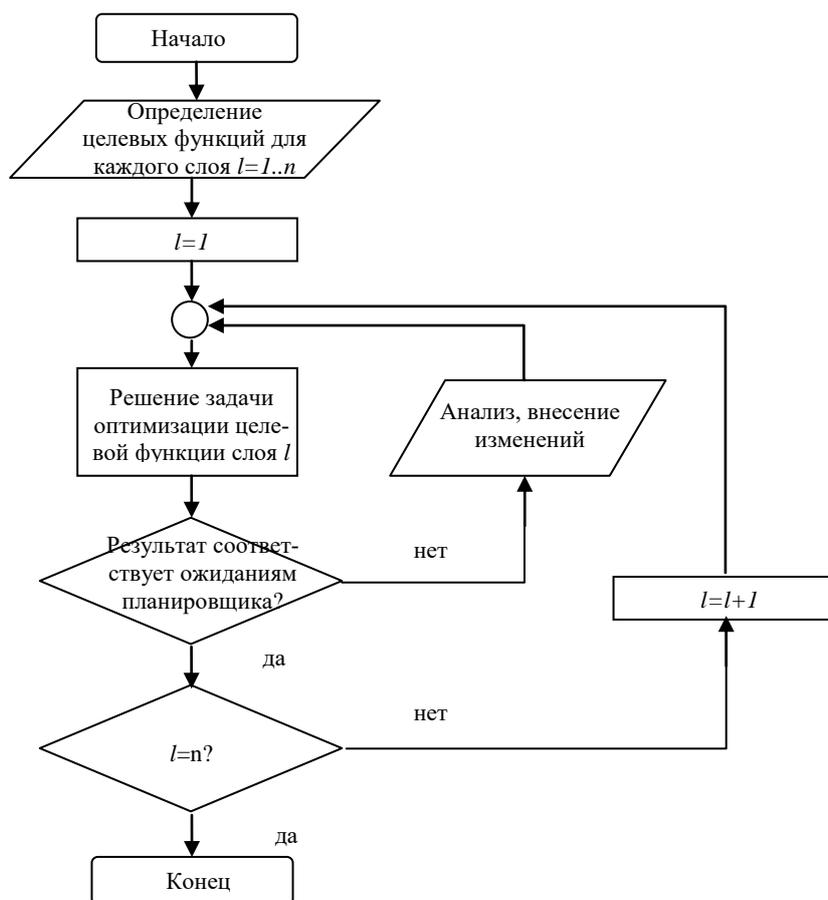
взаимосвязанных и более простых задач [22,106]. В контексте линейного программирования суть метода заключается в решении последовательности целевых функций (критериев) оптимизации при условии, что результаты применения первого по порядку критерия не могут быть (по умолчанию) нарушены применением второго критерия. В частности такой подход позволяет решить актуальную задачу интерактивной послойной оптимизации. Слой в контексте описываемой задачи представляет собой совокупность заказов клиентов или прогнозов, которые могут иметь разный приоритет. Необходимость сегментации (с последующим выделением слоев) цепи поставок определяется современными требованиями рынка. В рамках традиционного подхода (рисунок 34) большинство компаний используют единую модель управления цепями поставок для удовлетворения потребностей всех сегментов потребителей. Это приводит к разрыву между уровнем сервиса и ожиданиями потребителей, а также к высоким затратам на поддержание уровня сервиса. Дифференциация моделей управления цепями поставок в зависимости от требований потребительских сегментов (слоев) позволяет добиться соответствия между уровнем сервиса и ожиданиями потребителей, снизить затраты на достижение уровня сервиса.



**Рис. 34 – Дифференциация моделей управления цепями поставок**

Кроме того такой подход позволяет организовать интерактивный процесс оптимизации, когда после решения задачи оптимизации целевой функции каждого отдельного слоя возможно привлечь планировщиков для оценки плана, внесения дополнительных ограничений для проведения сценарного анализа. На

рисунке 35 приведено описание предлагаемого автором алгоритма по интерактивной послойной оптимизации.



*Рис. 35 – Алгоритм интерактивной послойной оптимизации*

Возможности классических методов многокритериальной оптимизации в плане организации интерактивного процесса планирования ограничены, так как исходная постановка задачи совершенно иная – нахождение математического оптимума. На практике планировщикам в первую очередь требуется создать реалистичный и стабильный план и только во вторую очередь обеспечить его оптимальность. В реальной жизни ситуация в цепи поставок развивается так быстро и в каждый момент времени планировщику доступно такое количество важной неформализованной информации, что возможности оперативной доработки математической модели, формализации дополнительной информации ограничены. В связи с этим требуется иная форма организации процесса оптимизации. Метод итеративной послойной оптимизации опробован

на металлургическом предприятии TimkenSteel и показал свою эффективность и может быть рекомендован для предприятий рассматриваемого класса.

Приведем пример. Имеется портфель заказов на продукцию компании. Все заказы по стратегическим контрактам имеют наивысший приоритет, обязательны для исполнения в первую очередь (при возможности) и входят в слой 1, обозначенный как  $l1$ . Все прочие прогнозные заказы (неподтвержденные клиентами) имеют более низкий приоритет, не обязательны для исполнения и входят в слой 2, обозначенный как  $l2$ . При задании целевых критериев оптимизации пользователь придерживается следующей логики. Все заказы  $i=1..n$ , входящие в слой  $l1$ , которые можно произвести на ресурсах  $r=1..p$  и, которые для этого могут использовать материалы  $s=1..k$ , должны быть удовлетворены в первую очередь вне зависимости от приносимой маржинальной прибыли. Исполнение данных заказов может быть ограничено лишь доступными мощностями ресурсов  $r=1..p$ , выраженных в доступных машиночасах  $C_r$ , и имеющимися запасами материалов  $s=1..k$ , выраженных в тоннах  $M_s$ .

Все заказы  $j=1..m$ , входящие в слой  $l2$  должны оптимизироваться на основании критерия максимизации приносимой маржинальной прибыли с учетом оставшихся резервов по мощностям ресурсов и незарезервированному материалу.

Для реализации данной логики пользователь задает следующую последовательность целевых критериев оптимизации:

- максимизация удовлетворения спроса первого слоя (3.4)

$$f_1 = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot \sum_{r=1}^p \sum_{s=1}^k S_{l1,i,r,s}) \rightarrow \max, \quad (3.4)$$

при

$$\sum_{r=1}^p \sum_{s=1}^k S_{l1,i,r,s} \leq D_{l1,i} \text{ для каждого } i=1..n,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k (\alpha_{i,r,s} \cdot S_{l1,i,r,s}) \leq C_r \text{ для каждого } r=1..p,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^p (\beta_{i,r,s} \cdot S_{11,i,r,s}) \leq M_s \text{ для каждого } s = 1..k,$$

$$S_{11,i,r,s} \geq 0,$$

где:  $S_{11,i,r,s}$  – объем продаж заказов  $i$  из слоя  $l1$ , произведенных на ресурсах  $r$  с использованием материалов  $s$ ,

$\lambda_i$  – весовой коэффициент приоритетности заказов в рамках слоя (определяется индивидуально экспертами),

$D_{11,i}$  – максимальный объем спроса по заказам  $i$  из слоя  $l1$ ,

$C_r$  – доступные машиночасы ресурсов  $r$ ,

$\alpha_{i,r,s}$  – коэффициент преобразования объема готовой продукции заказов  $i$  к потребности в машиночасах ресурса  $r$  при использовании материала  $s$ ,

$M_s$  – доступные запасы в тоннах материала  $s$ ,

$\beta_{i,r,s}$  – коэффициент преобразования объема готовой продукции заказов  $i$  к потребности в материале  $s$  на ресурсе  $r$ .

- максимизация маржинальной прибыли второго слоя (3.5)

$$f_2 = \sum_{j=1}^m (\lambda_j \cdot \sum_{r=1}^p \sum_{s=1}^k (S_{12,j,r,s} \cdot (p_{12,j} - c_{12,j,r,s}))) \rightarrow \max, \quad (3.5)$$

при

$$\sum_{r=1}^p \sum_{s=1}^k S_{12,j,r,s} \leq D_{12,j} \text{ для каждого } j = 1..m,$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^k (\alpha_{j,r,s} \cdot S_{12,j,r,s}) + \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k (\alpha_{i,r,s} \cdot S_{11,i,r,s}) \leq C_r \text{ для каждого } r = 1..p,$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^p (\beta_{j,r} \cdot S_{12,j}) + \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^p (\beta_{i,r} \cdot S_{11,i}) \leq M_s \text{ для каждого } s = 1..k,$$

$$S_{12,j,r,s} \geq 0,$$

где:  $S_{12,j,r,s}$  – объем продаж заказов  $j$  из слоя  $l2$ , произведенных на ресурсах  $r$  с использованием материалов  $s$ ,

$\lambda_j$  – весовой коэффициент приоритетности заказов в рамках слоя (определяется индивидуально экспертами),

$p_{12,j}$  – цена единицы объема заказов  $j$  из слоя  $l2$ ,

$c_{12,j,r,s}$  – себестоимость единицы объема заказов  $j$  из слоя  $l2$ ,

произведенных на ресурсах  $r$  с использованием материалов  $s$ ,

$D_{12,j}$  – максимальный объем спроса по заказам  $j$  из слоя  $l2$ ,

$\alpha_{j,r,s}$  – коэффициент преобразования объема готовой продукции заказов  $j$  к потребности в машиночасах ресурса  $r$  при использовании материала  $s$ ,

$\beta_{i,r,s}$  – коэффициент преобразования объема готовой продукции заказов  $j$  к потребности в материале  $s$  на ресурсе  $r$ .

Логика расчетного модуля в данном случае будет следующая. На первом шаге, используя доступные логистические мощности и доступные запасы материала, система максимизирует отгрузку в тоннах по совокупности заказов входящих в слой  $l1$ .

На втором шаге, используя остатки логистических мощностей после удовлетворения совокупности заказов слоя  $l1$ , система отбирает те заказы из слоя  $l2$ , которые приносят максимальную маржинальную прибыль.

Метод интерактивной послойной оптимизацией, благодаря своей постановке и поэтапному решению многокритериальной задачи, частично решает вопрос неоднозначности выбора «оптимального решения» – нет необходимости проводить проверку на эффективность (парето-оптимальных) решений, вернее эта функция возложена на пользователя.

Данный метод является интуитивно понятным пользователям и соответствует бизнес логике. Технологии тактического планирования на основе метода послойной оптимизации были опробованы в ряде международных и российских компаний. Среди российских компаний необходимо отметить: Северсталь [61,59], Мечел [43], ММК [46, 50], ОМК [6,52].

Простейший пример сегментации цепи поставок и выделение слоев приведен в таблице 8.

**Пример сегментации цепи поставок и выделение слоев**

Слой	Строки прогноза продаж	Целевые функции
Слой 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Принятые заказы (ключевые клиенты),</li> <li>• Заказы на ремонтно-эксплуатационные нужды,</li> <li>• Давальческое сырье</li> </ul>	Максимизация отгрузки
Слой 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Принятые заказы (прочие)</li> </ul>	Максимизация отгрузки
Слой 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Предварительные заявки</li> <li>• Прогноз заказов на основании исторических данных</li> </ul>	Оптимизация маржинальной прибыли

В примере модель послойной оптимизации приведена для случая использования одного критерия оптимизации в рамках слоя. Область применения метода интерактивной может быть расширена при использовании многокритериальной оптимизации на основе целевого программирования. Напомним, что в основе метода целевого программирования[42] для решения многокритериальных задач лежит упорядочение критериев (целей) по степени важности. Исходная задача решается путем последовательного решения ряда задач с одной целевой функцией таким образом, что решение задачи с менее важной целью не может ухудшить оптимального значения целевой функции с более высоким приоритетом. В результате удастся достигнуть удовлетворительного решения для рассматриваемой проблемы. Целевое программирование, как правило, применяется к линейным моделям. Основное его отличие от задачи ЛП заключается в том, что многие цели формализуются не как целевые функции, а как ограничения в другой более общей модели. С этой целью вводятся предполагаемые количественные значения целевых функций и так называемые, переменные отклонения которые характеризуют степень достижения поставленных целей для данного решения.

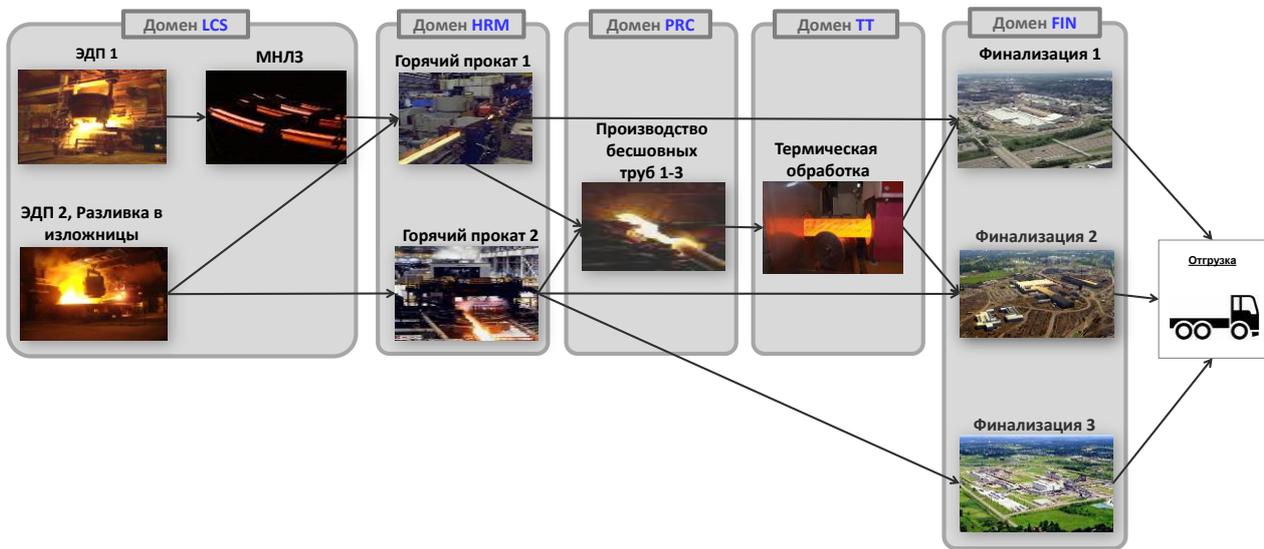
Для металлургических предприятий помимо указанных критериев по максимизации отгрузки и маржинальной прибыли актуальны также следующие цели:

- минимизация переменных затрат;

- минимизация запасов;
- минимизация нарушения минимального и максимального уровня запасов;
- минимизация нарушения загрузки ресурсов;
- минимизация отклонения от заданных долей групп производимых позиций.

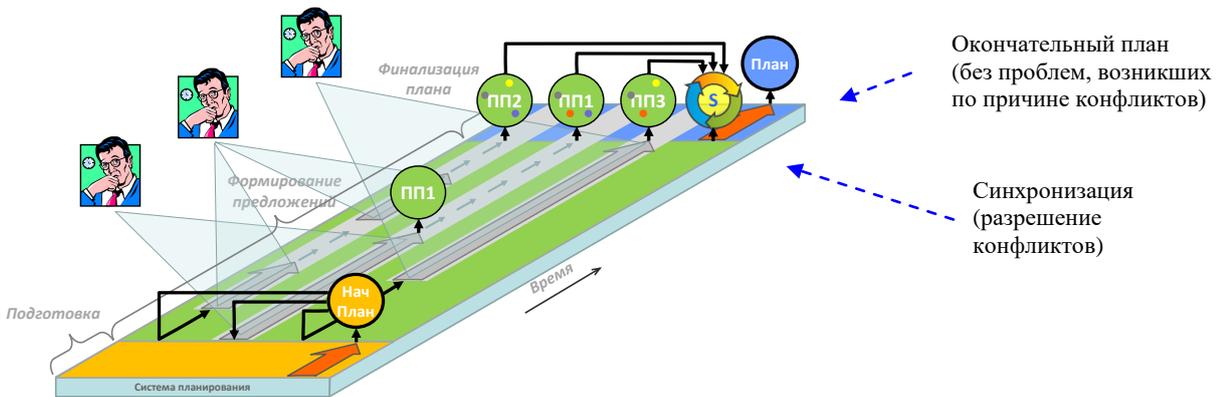
### **3.4. Развитие методов оперативного планирования цепей поставок**

В целях организации усовершенствованного процесса планирования цепи поставок, приведенного в подразделе 2.8., необходимо в первую очередь ввести понятие доменов планирования. Суть этой концепции заключается в организации процесса независимого планирования различных этапов цепи поставок в параллельном режиме. Каждый домен планирования покрывает определенный этап цепи поставок. За домен отвечает назначенный планировщик, который в рамках процесса планирования пытается добиться максимальной эффективности своего этапа цепи поставок. При этом каждый из планировщиков доменов работают независимо друг от друга с одной и той же версией плана в параллельном режиме. В ходе планирования планировщики доменов имеют возможность оценивать влияние своих изменений на другие этапы цепи поставок. Это позволяет планировщикам, фокусируясь на проблемах своего домена, оценивать потенциальные проблемы синхронизации с соседними этапами цепи поставок на заключительном этапе планирования. Пример разбиения цепи поставок производителя специальных сталей на домены планирования приведен на рисунке 36.



**Рис. 36 – Разбиения цепи поставок производителя специальных сталей на домены планирования**

В рамках усовершенствованного процесса дневной цикл планирования состоит из нескольких сессий планирования. Каждая сессия содержит два ключевых этапа: планирование доменов и синхронизация планов доменов между собой (рисунок 37). Все домены планирования в начале сессии содержат один и тот же базовый план. В течение сессии ответственные планировщики вносят изменения в планы доменов, в результате чего к концу сессии в системе содержится множество различных доменных планов.



**Рис. 37 – Работа планировщиков в рамках усовершенствованного процесса планирования цепи поставок**

Организация процесса оперативного планирования цепи поставок на основе доменов планирования подразумевает наличие специального алгоритма для синхронизации планов различных планировщиков. Синхронизация планов

доменов осуществляется в конце каждой сессии планирования. За управление сессиями планирования и синхронизацию планов доменов отвечает главный планировщик. Обнаруженные несоответствия разрешаются на основе predetermined правил и приоритетов доменов. Общий вид алгоритма синхронизации доменов планирования приведен на рисунке 38.



**Рис. 38 – Общий вид алгоритма синхронизации доменов планирования**

Пример алгоритма синхронизации в виде операций над множествами (3.6).

$$SP_{i,\tau} = S_{d,i,\tau} \cup Pfix_{d,i,\tau} \cup Pop_{d,i,\tau} \cup P_{d,i,\tau}, \quad (3.6)$$

где:  $d$  – вектор номеров доменов планирования, совпадающие с номерами участков цепи поставок, которым они принадлежат, при этом номера доменов отсортированы по приоритетности,

$i$  – вектор номеров участков цепи поставок,

$SP_{i,\tau}$  – синхронизированный план операций для участков цепи поставок  $i$ , периодов  $\tau$ ,

$S_{d,i,\tau}$  – утвержденное расписание операций доменов  $d$  по участку цепи поставок  $i$  для периода  $\tau$  при  $i = d$ ,

$Pfix_{d,i,\tau}$  – план операций по фиксированным периодам доменов  $d$  по участкам цепи поставок  $i$  для периодов  $\tau$  при  $i = d$  и  $\Leftrightarrow a \in Pfix_{d,i,\tau} : a \notin S_{d,i,\tau}$ ,

$Pop_{d,i,\tau}$  – план фиксированных операций доменов  $d$  по участкам цепи поставок  $i$  для периодов  $\tau$  при  $i = d$  и  $\Leftrightarrow a \in Pop_{d,i,\tau} : a \notin Pfix_{d,i,\tau} : a \notin S_{d,i,\tau}$ ,

$P_{d,i,\tau}$  – планы оставшихся операций, определяющихся как разность начального множества  $P^{нач}_{d,i,\tau}$  и  $S_{d,i,\tau} \cup Pfix_{d,i,\tau} \cup Pop_{d,i,\tau}$ , т.е.

$$P^{нач}_{d,i,\tau} \setminus (S_{d,i,\tau} \cup Pfix_{d,i,\tau} \cup Pop_{d,i,\tau}).$$

Главный планировщик оценивает изменения в планах доменов, сделанные за сессию путем сравнительного анализа планов доменов и синхронизированного общего плана; а также путем оценки ключевых показателей эффективности. Для обсуждения результатов планирования доменов и их влияния на финальный план, главный планировщик может организовать совещание, в рамках которого принятые решения могут быть тут же отражены в системе оперативного планирования цепи поставок. Окончательная версия плана принимается в качестве базового плана доменов для следующей сессии планирования.

Описанный алгоритм синхронизации доменов планирования был реализован в решении LOGIS Production Planner, успешно опробован и внедрен в промышленную эксплуатацию в компании Timken Steel [48, 136].

Перспективным направлением развития описанного алгоритма является применения современных методов искусственного интеллекта: обучение по прецедентам (индуктивное обучение), а также дедуктивное обучение на основе формализации знаний экспертов и их перенос в компьютер в виде базы знаний.

### **3.5. Разработка алгоритма составления расписаний выплавки и разливки**

Эффективность управления металлургическими процессами выплавки и разливки оказывает значительное влияние на конкурентные преимущества компании и во многом определяет финансовые показатели ее деятельности. Перманентно усиливающаяся интенсивность конкурентной борьбы сталелитейных компаний на фоне роста неопределенности на рынке черных металлов определяет актуальность разработки и внедрения новых подходов к решению задачи составления качественных расписаний выплавки и разливки.

Задача составления оптимальных расписаний выплавки и разливки относится к классу сложности NP [1,20]. Для такого класса задач маловероятно найти точный алгоритм с полиномиальным временем работы. Т.е. можно при небольшом объеме входных данных применить алгоритм, время работы которого выражается показательной функцией. В ряде случаев можно выделить важные частные случаи, которые можно разрешить в течение полиномиального времени. Однако для больших объемов входных данных на практике обычно применяются приближенные методы, позволяющие получить решение за разумное время. Существуют следующие методы решения NP-полных задач: эвристические методы, псевдополиномиальные алгоритмы (подкласс динамического программирования), метод локальных улучшений (поиск более оптимального), решения в окрестности некоторого текущего решения, метод ветвей и границ (отсечение заведомо неоптимальных решений целыми классами в соответствии с некоторой оценкой), метод случайного поиска.

С учетом стремления компаний к организации процесса планирования в режиме реального времени в практике составления расписаний выплавки и разливки основной практический интерес на сегодняшний день представляют эвристические методы.

Работами в области разработки новых методов составления расписаний выплавки и разливки зачастую занимались сами металлургические предприятия

совместно с партнерами. В качестве партнеров выступали научно исследовательские институты и ведущие поставщики программного обеспечения. Большинство попыток разработать специализированные решения самостоятельно или с помощью партнеров не принесли желаемых результатов или потерпели фиаско, несмотря на значительные инвестиции финансовых и людских ресурсов. К основным причинам можно отнести недостаточное развитие алгоритмов оптимизации и недостаточные аппаратные мощности. Последние достижения в этих областях позволили специалистам LOGIS разработать метод и решение, которое дает возможность создавать качественные расписания выплавки и разливки для реального использования их в производственной деятельности крупных сталелитейных предприятий.

Расписания выплавки и разливки обычно обновляются, по крайней мере, один раз в день. Это делается для тысяч заказов. При этом ответственный за это планировщик пытается найти решение, удовлетворяющее одновременно нескольким конкурирующим целям. Рассмотрим эти цели более подробно.

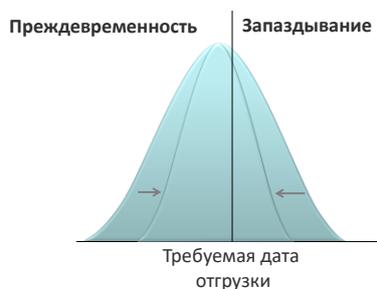
Наиболее важная цель - выполнения заказов вовремя, т. е. минимизация преждевременного выполнения заказов, а также минимизация запаздывания по выполнению заказов (формула (3.7) и рисунок 39).

$$f_1 = \sum_{i=1}^n |t_i - a_i| \rightarrow \min, \quad (3.7)$$

где:  $i$  – заказы на выплавку от 1 до  $n$ ,

$t_i$  – требуемое время отгрузки заказа,

$a_i$  – фактическое время отгрузки заказа.



**Рис. 39 – Распределение дат производства заказов**

Требуемое время производства для каждого заказа в сталелитейном производстве, как правило, определяется на более высоком уровне календарного производственного планирования, на котором осуществляется балансировка мощностей всей цепочки предприятия. Используя данные календарного производственного плана, планировщик должен создать максимально соответствующее расписание. Если заказы произведены слишком рано, образуются избыточные запасы. Если заказы произведены слишком поздно, может пострадать качество клиентского сервиса и могут потребоваться дополнительные затраты на ускорение процесса доставки.

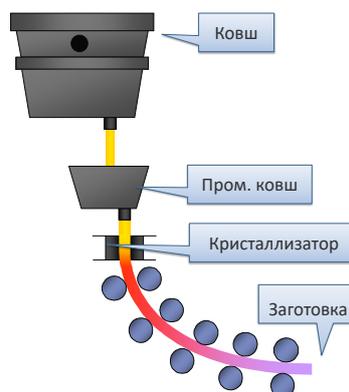
Вторая по приоритетности цель составления расписания выплавки и разливки это максимизация коэффициента полезного использования промежуточного ковша (формула (3.8) и рисунок 40).

$$f_2 = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T_{\max_i}} \rightarrow \max, \quad (3.8)$$

где  $i$  – промежуточные ковши от 1 до  $n$ ,

$T_i$  – фактическое количество последовательно разлитых плавков через один промежуточный ковш,

$T_{\max_i}$  – максимальное количество последовательно разливаемых плавков через один промежуточный ковш для заданных марок сталей.



**Рис. 40 – Схема МНЛЗ**

Количество последовательно разливаемых плавков через один промежуточный ковш отличается в зависимости от марки стали. Когда коэффициент полезного использования ковша максимален, ковш используется наиболее эффективно и сталь поступает в кристаллизатор непрерывно продолжительное время. При этом затраты на тонну выплавляемой стали уменьшаются. Доля переходных начальных и конечных зон в слябах в общем объеме производства также снижается, что приводит к улучшению показателя выхода годного.

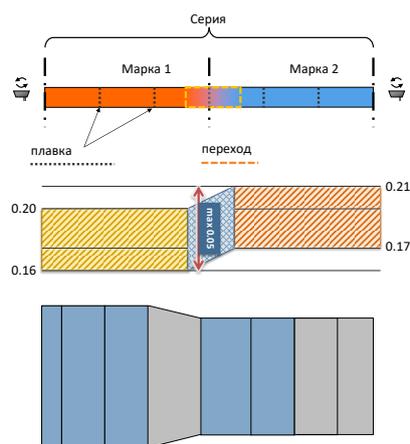
Третьей целью является минимизация смен марок стали в течение жизненного цикла промежуточного ковша и минимизация изменений ширины кристаллизатора. Минимизация смен марок сталей улучшает выход годного, так как уменьшается доля переходных начальных и конечных зон в слябах (формула (3.9) и рисунок 41).

$$f_3 = \sum_{i=1}^n G_i + M_i \rightarrow \min , \quad (3.9)$$

где  $i$  – промежуточные ковши от 1 до  $n$ ,

$G_i$  – количество смен марок стали в течение жизненного цикла промежуточного ковша,

$M_i$  – количество изменений ширины кристаллизатора в течение жизненного цикла промежуточного ковша.



**Рис. 41 – Смена марок стали и ширины**

Слябы с переходными марками стали, как правило, мало востребованы рынком и зачастую идут на переплавку. Уменьшение числа и интенсивности изменений ширины кристаллизатора очень важный вопрос для производителей листового проката, так как улучшение этого показателя ведет к: снижению износа оборудования станов разливки и прокатки, снижению риска поломок, потенциальному увеличению выхода годного.

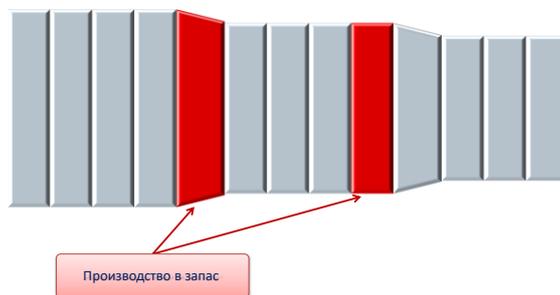
Четвертой целью является минимизация накопления избыточных запасов (формула (3.10)).

$$f_4 = \sum_{i=1}^n S_i \rightarrow \min, \quad (3.10)$$

где:  $i$  – промежуточные ковши от 1 до  $n$ ,

$S_i$  – объем производства в запас.

По мере того, как производственные заказы комбинируются в плавки, а из плавков, в свою очередь, создаются серии, возникают избыточные запасы, создание которых продиктовано кратностью плавков или целями по максимизации продолжительности жизни промежуточного ковша (рисунок 42).



**Рис. 42 – Производство в запас**

Производство в запас, как правило, является тратой драгоценного времени производства, так как отсутствует возможность получить доход с произведенного продукта сразу.

Пятая цель это минимизация разливки более качественных марок сталей, чем оговорено в заказах (формула (3.11) и рисунок 43).

$$f_5 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{l=1}^m G o \max_{i,j,l} - G h \max_{i,l} \rightarrow \max, \quad (3.11)$$

при:

$$Go \min_{i,j,l} \leq Gh \min_{i,l} < Gh \max_{i,l} \leq Go \max_{i,j,l},$$

где:  $i$  – плавки от 1 до  $n$ ,

$j$  – заказы в плавках от 1 до  $k$ ,

$l$  – химические элементы в заказах и плавках от 1 до  $m$ ,

$Go \max_{i,j,l}$  – максимальное содержание химического элемента в

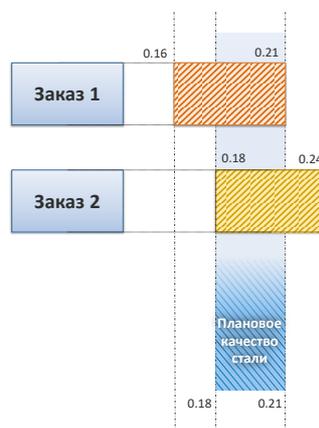
соответствии с заказом,

$Gh \max_{i,l}$  – максимальное содержание химического элемента в плавке,

$Gh \min_{i,l}$  – минимальное содержание химического элемента в плавке,

$Go \min_{i,j,l}$  – минимальное содержание химического элемента в

соответствии с заказом.



**Рис. 43 – Качество сталей**

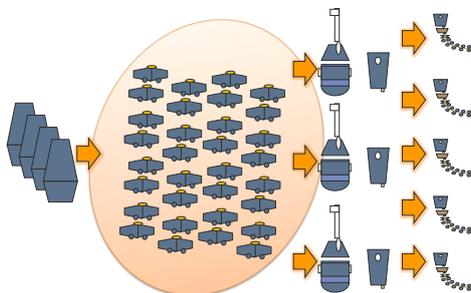
Для максимизации полезного использования промежуточного ковша, а также для минимизации смен марок сталей, металлургические компании иногда разливают более качественные марки сталей, чем оговорено в заказах. Расписания выплавки и разливки, которые минимизируют разливку более качественных марок сталей, чем оговорено в заказах, тем самым уменьшают затраты на дорогостоящие ферро материалы.

Для интегрированных металлургических компаний, имеющих в своем производственном цикле выплавку чугуна в домнах, существует шестая цель – управление запасами жидкого чугуна (3.12).

$$f_6 = Spi \rightarrow \min, \quad (3.12)$$

где  $Sp_i$  – запасы жидкого чугуна.

На таких металлургических заводах чугун из доменных печей доставляется в железнодорожных цистернах на участок производства стали (рисунок 44).



**Рис. 44 – Управление запасами чугуна**

Как правило, количество цистерн ограничено. Данные цистерны, по сути, представляют собой запасы жидкого чугуна для сталелитейного производства. Загрузка сталеплавильного производства, а соответственно и потребность в чугуне, определяется расписанием выплавки и разливки. Так как быстрое изменение объемов производства домен затруднительно, расписание выплавки и разливки должны постоянно отслеживаться и корректироваться для оптимизации уровня запасов чугуна «на колесах». Это помогает избежать дорогостоящих, а также экологически вредных методов хранения жидкого чугуна.

Для тех металлургических заводов, на которых возможен значительный объем горячего проката, две дополнительные цели определяют качество расписания выплавки и разливки: температура сляба на входе нагревательных печей (3.13) и загрузка мощностей горячего проката (3.14).

$$f_7 = \sum_{i=1}^n \tau_i \rightarrow \max, \quad (3.13)$$

где  $i$  – слябы от 1 до  $n$ ,

$\tau_i$  – температура сляба на входе нагревательных печей.

$$f_8 = \frac{L}{L_{\max}} \rightarrow \max, \quad (3.14)$$

где:  $L$  – загрузка мощностей горячего проката;

$L_{max}$  – максимальные доступные мощности горячего проката.

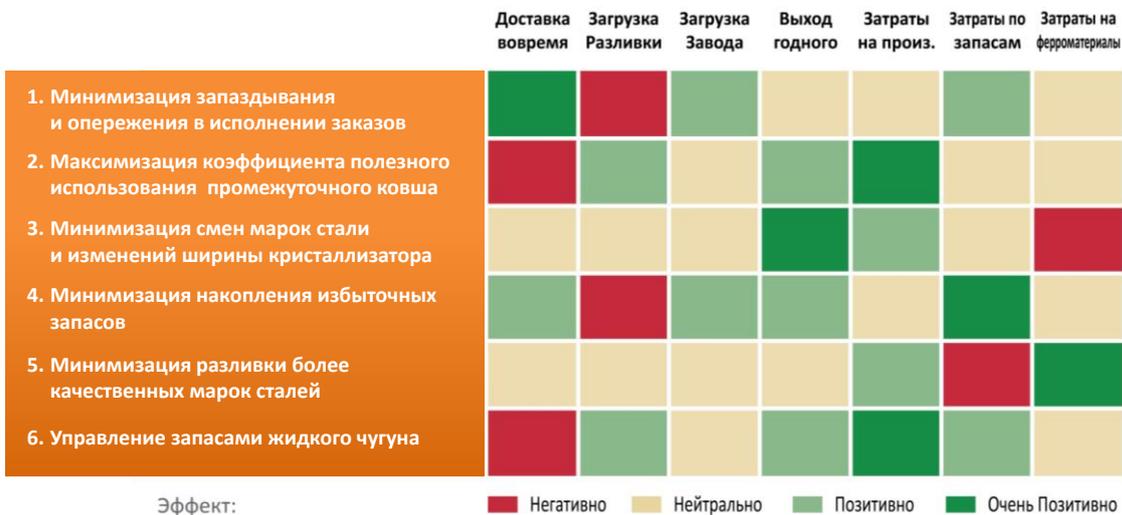
После разливки наиболее эффективный способ производства заключается в немедленном горячем прокате полуфабрикатов. Во-первых снижаются затраты на разогрев полуфабрикатов, так как они не успевают остыть. Во-вторых, уменьшаются потери от их нахождения в остатках. В-третьих, время производственного цикла снижается, тем самым повышается гибкость в удовлетворении заказов потребителей. В-четвертых, если цикл удовлетворения заказа короче, чем у конкурентов, это является преимуществом и возможностью установления более гибкой ценовой политики.

Горячий всад зависит от четырех составляющих: особенности размещения цехов предприятия, гибкости в загрузке разливочных и прокатных станов, сортамента производимой продукции и возможностями по составлению расписаний выплавки и разливки.

Первые три составляющих налагают теоретический максимум на объем горячего всада. Какой бы у завода не был потенциал, он может быть реализован только путем синхронизации расписаний работы выплавки, разливки и проката. Это еще больше увеличивает сложность составления расписаний работы оборудования.

Как правило, при составлении расписаний приходится искать компромисс между задачами минимизации загрузки печей разогрева, максимизации загрузки стана горячего проката и шестью задачами составления расписаний выплавки и разливки.

Вышеописанные цели находятся в сложной взаимосвязи между собой (рисунок 45).



**Рис. 45 – Шесть ключевых целей составления расписаний выплавки и разливки**

Минимизация запаздывания и опережения в исполнении заказов улучшает показатели качества клиентского сервиса, но может привести к снижению коэффициента использования промышленного ковша и увеличить производственные затраты. В свою очередь, максимизация коэффициента полезного использования промежуточного ковша снижает производственные затраты, но при этом может привести к увеличению запасов и к разливке более качественных марок сталей, чем оговорено в заказах. Максимизация горячего всада может уменьшить коэффициент загрузки промышленного ковша и т. д.

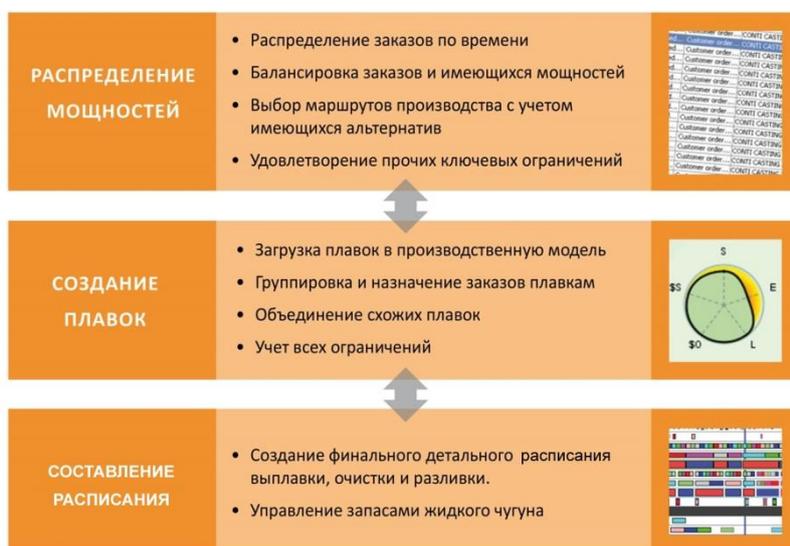
Сложности балансировки вышеуказанных целей с учетом специфических технологических ограничений и правил долгое время мешало компаниям добиваться эффективных результатов по составлению расписаний выплавки и разливки. Не существовало практического метода для комплексного и эффективного решения проблемы балансировки вышеуказанных целей. Классические подходы многокритериальной оптимизации, в основе которых лежали методы математического программирования, не позволяли подготавливать расписание реального сталеплавильного производства за разумное время.

Сложность проблемы составления расписаний выплавки и разливки определяет необходимость применения к ней метода декомпозиции. Данный

научный метод позволяет, используя структуру задачи, заменить решение одной большой задачи решением серии меньших взаимосвязанных и более простых задач [22,106].

В рамках нового метода составления расписаний выплавки и разливки производится: а) декомпозиция общей задачи на подзадачи или слои; б) применение наиболее подходящего к каждому слою алгоритма балансировки; с) обмен данными между различными слоями в процессе нахождения решения с требуемыми характеристиками.

Предложенный новый метод составления расписаний решает проблему, используя три слоя оптимизации (рисунок 46).



**Рис. 46 – Декомпозиция задачи составления расписаний выплавки и разливки**

На первом слое осуществляется распределение производственных мощностей. На этом слое заказы распределяются по времени, определяются общие требования к датам разливки, моделируется уровень загрузки ресурсов с учетом ключевых ограничений по мощностям, выбираются маршруты производства с учетом имеющихся альтернатив.

На втором слое осуществляется комбинирование заказов в плавки с учетом доступных производственных мощностей, правил по совместимости марок сталей. При этом решения принятые на первом уровне не должны быть нарушены.

На третьем слое создается детальная последовательность выплавки, очистки и разливки сталей, осуществляется управление запасами жидкого чугуна. При этом учитываются детальные производственные ограничения.

Итерации расчета и взаимодействие между слоями продолжается до тех пор, пока заданный баланс по всем ключевым показателям не будет достигнут. Общая последовательность шагов следующая: выполняется расчет первого слоя, результаты передаются на следующие слои. Если при расчете выявляются несоответствия на более детальных уровнях, результаты возвращаются назад для корректировки предшествующих уровней. Итерации продолжаются до достижения баланса по всем ключевым показателям эффективности.

Разработанный алгоритм является эвристическим по своей природе. Эвристический алгоритм – алгоритм решения задачи, включающий практический метод, не являющийся гарантированно точным или оптимальным, но достаточный для решения поставленной задачи. Позволяет ускорить решение задачи в тех случаях, когда точное решение не может быть найдено.

Благодаря декомпозиции исходной задачи составления расписаний на несколько слоев и использования лучших комбинаций оптимизационных алгоритмов для каждого слоя обеспечивается наилучшая эффективность расчета. В качестве обоснования этого утверждения в качестве оценки эффективности алгоритма приведем результаты нагрузочного тестирования описанного алгоритма на реальной модели сталеплавильного производства.

Тесты проводились на виртуальной машине ОС Win2008 R2, хост archlinux (ядро 4.10.9-1-ARCH), виртуализация virtualbox (драйвер vbox), 100% cpu / 4 Gb, виртуальная машина имела высокий приоритет, параллельных процессов запущено не было. Расписание создавалось для заказов на выплавку/разливку стали для предприятия с 2-мя МНЛЗ и 2-мя ресурсами разливки слитков сифонным способом. Параметры горизонтов планирования были следующими: фиксированный период – 0 дней, период создания последовательностей – 30 дней, период создания плавов – 300 дней. Перед

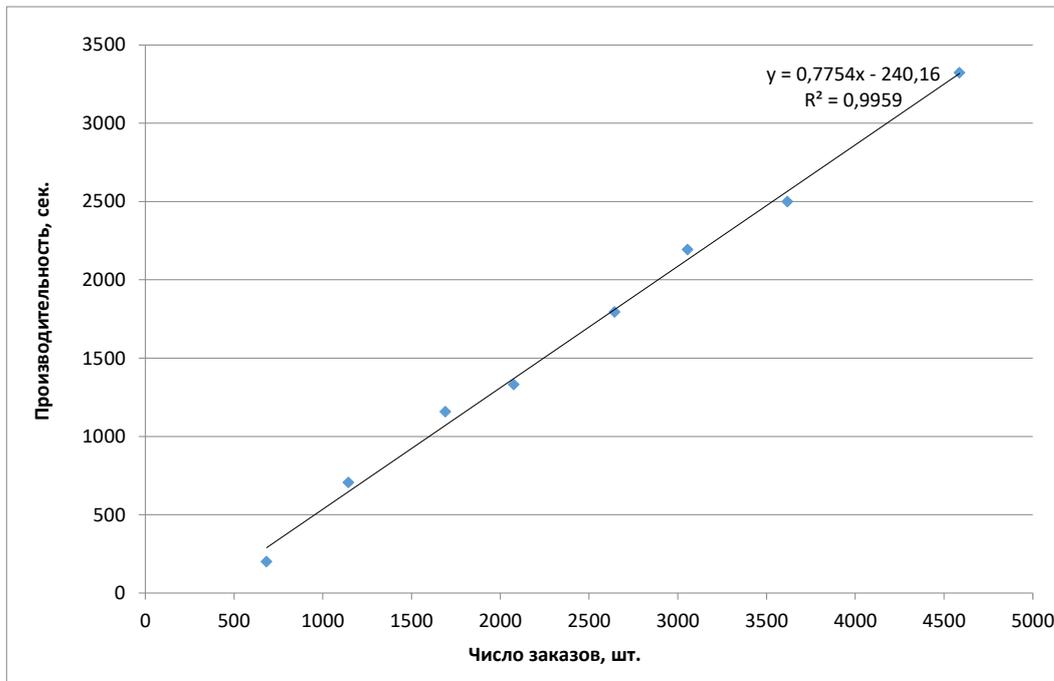
созданием расписания предыдущий план был удален за исключением переходящих плавок/разливок (попавших на start\_date). Потребление памяти определялось как пиковое значение потребления памяти в диспетчере задач во время построения графика, округлялось до 10Мб. Для каждого случая проводилось 3 теста, выбирался средний из 3-х результатов. Результаты тестирования представлены в таблице 9.

Таблица 9

### Результаты нагрузочного тестирования

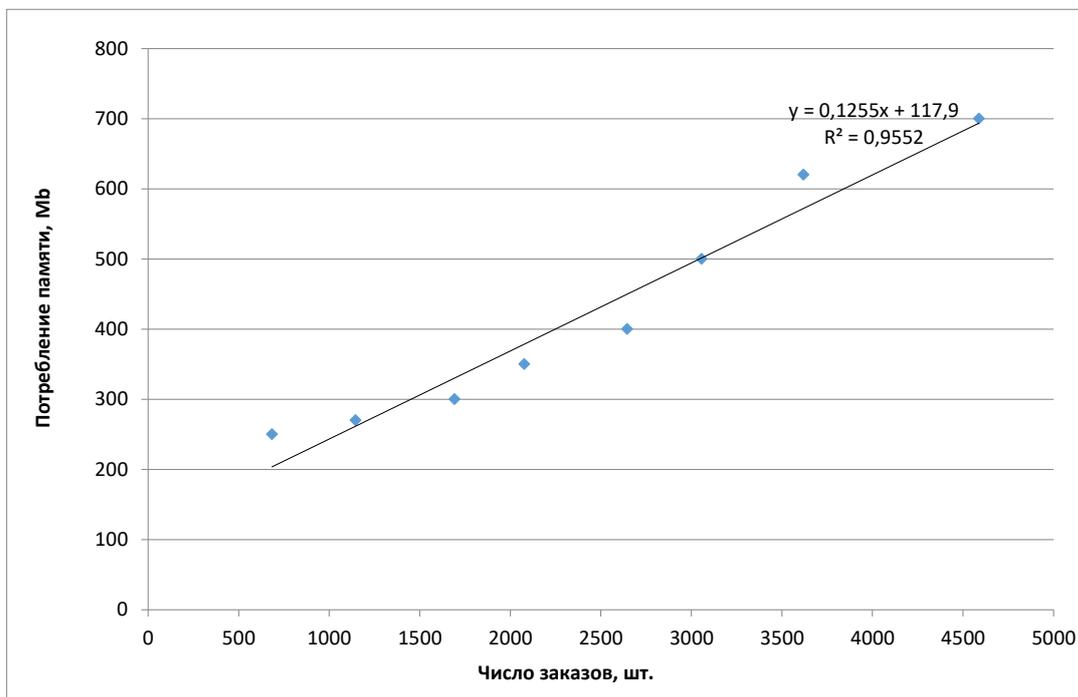
Число заказов, шт.	683	1145	1691	2076	2645	3055	3618	4588
Производительность (общее время), сек.	199,8	705	1157,9	1330	1794	2192	2498,6	3322,1
Модуль Планирование мощностей, сек.	6,4	11,7	18,2	22,8	30,2	36,1	40,7	50,7
Модуль Планирование мощностей, запусков	683	1145	1691	2076	2645	3055	3618	4588
Модуль Создание плавок, сек.	51,8	124,4	356,7	456	693	813,9	1066	1528,6
Модуль Создание плавок, запусков	657	1119	1665	2050	2619	3029	3592	4562
Модуль Подбор кандидатов, сек.	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
Модуль Подбор кандидатов, запусков	683	1145	1691	2076	2645	3055	3618	4588
Модуль Конструирование плавок, сек.	39,4	92	287,3	358,2	535,7	622,3	795	1098,4
Модуль Конструирование плавок, запусков	657	1119	1665	2050	2619	3029	3592	4562
Модуль Распространения, сек.	0,9	1,9	3,4	3,9	2,7	2,7	2,8	2,3
Модуль Распространения, запусков	26	26	26	26	26	26	26	26
Модуль "Обновления мощностей", сек.	0,0	0	0,1	0	0	0	0	0
Модуль Обновления мощностей, запусков	683	1145	1691	2076	2645	3055	3618	4588
Пиковое потребление памяти LCS.exe, Мб	250	270	300	350	400	500	620	700

Значения времени выполнения алгоритма в зависимости от количества заказов с линейной аппроксимацией приведено на рисунке 47.



**Рис. 47 – Время выполнения алгоритма в зависимости от количества заказов**

На рисунке 48 приведено для этих же значений количества заказов объемы потребляемой алгоритмом оперативной памяти компьютера.



**Рис. 48 – Объем потребления памяти в зависимости от количества заказов**

Как видно из приведенных графиков время работы алгоритма и объем потребляемой памяти растут линейно, что говорит о хорошей

производительности и практической ценности рассматриваемого алгоритма. Следует также отметить, что на практике число заказов для составления расписания для предприятия с объемами производства 2,5 миллиона тонн стали в год составляет менее 1000 шт.

Описанный алгоритм был реализован в решении LOGIS Caster Scheduler и успешно внедрен в промышленную эксплуатацию в компаниях Trinecke Zelezarny [38, 55] и TimkenSteel [48,35].

### **3.6. Устойчивость и риски планов**

Важным элементом точного выполнения планов является эффективная система мотивации персонала, основная задача которой добиться максимального соответствия плана и факта. Однако наряду с человеческим фактором в цепях поставок промышленных предприятий существует значимая доля неопределенности логистических процессов (в первую очередь производственных процессов), неопределенности спроса. В связи с этим возникает задача оценки влияния этой неопределенности на устойчивость планов.

Нормативно-справочная информация (НСИ) для моделей планирования, как правило, определяется на основании статистики. В качестве показателей используются усредненные значения производительностей, расходных коэффициентов и т. д. Такой подход подразумевает, что в случае значительных колебаний фактических показателей параметры плана могут также существенно меняться. Основным подходом в этом случае является динамически адаптивный пересчет планов по мере поступления фактической информации о движении товаро-материальных ценностей.

При поступлении фактической информации по показателям НСИ вопрос об обновлении НСИ может решаться на основании сравнения величины отклонения со значением среднеквадратического отклонения  $\delta$  по анализируемому параметру. К примеру, в случае если отклонение превышает значения  $\delta$  более чем в 2 раза, то данная величина автоматически не

учитывается при следующей итерации по пересчету НСИ. Данные инциденты должны быть отдельно проанализированы ответственными специалистами.

Для оценки устойчивости планов в целом на практике применяют метод сценарного анализа. К примеру, в рамках моделирования неопределенности спроса закладываются три сценария: оптимистичный, пессимистичный и реалистичный. Сравнение результатов моделирования позволяет провести экспертную оценку устойчивости планов. Таким же образом (путем сценарного анализа) возможно оценить устойчивость плана к изменениям НСИ.

Важным показателем также является стабильность планов. Она может быть рассчитана как отношение количества заказов с предыдущего дня, для которых план выполнения не изменился, к общему количеству заказов в новом плане. Одна из целей при проектировании модели планирования является обеспечение стабильности планов.

На основании представленного в третьей главе материала можно сделать следующие выводы. В рамках проведенного исследования автором получены следующие результаты.

1. Разработана общая процедура прогнозирования на основании контроля исключительных ситуаций, которая позволяет повысить качество планирования за счет сокращения рутинных операций, предоставления большего времени аналитикам для интеллектуальной работы. Систематизирован перечень исключительных ситуаций с определением правил их оценки.

2. Формализован метод и критерии определения уровня детализации объектов и материалов модели цепи поставок, позволяющие систематизировать процесс создания интегрированных моделей цепей поставок промышленных предприятий.

3. Определен алгоритм оптимальной балансировки спроса и предложения в цепях поставок промышленных предприятий на основе метода интерактивной послойной оптимизации, который позволяет резервировать логистические мощности для приоритетных заказов и осуществлять оптимальное распределение оставшихся мощностей между другими заказами.

4. Разработан метод оперативного планирования на основе организации процесса независимого планирования различных этапов цепи поставок в параллельном режиме, позволяющий исключить ситуации непреднамеренного и невозвратимого удаления предложений разных планировщиков.

5. Формализованы основные положения алгоритма составления расписаний выплавки и разливки на основе шести ключевых конкурирующих целей оптимизации, позволяющего повысить эффективность управления сталеплавильным производством.

В следующей главе подробно рассмотрен вопрос информационной поддержки процессов интегрированного планирования.

## **ГЛАВА IV. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССОВ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

### **4.1. Исследование современного состояния информационной поддержки процессов интегрированного планирования**

На сегодняшний день не существует общепринятого в научной среде термина для систем управления и, в частности, систем планирования цепей поставок. В профилированных изданиях в основном используются многочисленные маркетинговые названия систем, которые предлагают производители программного обеспечения. Т.е. часто для обозначения одного и того же понятия необоснованно используются различные англоязычные термины, количество вариантов их русских переводов еще больше. В связи с этим представляется целесообразным ввести универсальный термин для систем рассматриваемого класса, во всяком случае, для российской научной школы логистики и управления цепями поставок.

Для этого автором предлагается воспользоваться традициями российской научной школы. Хорошо известны следующие определения систем управления: Автоматизированная Система Управления Техническими Процессами (АСУ ТП), Автоматизированные Системы Управления Предприятием (АСУП). Учитывая подход по наименованию систем автоматизации, автором предложены следующие термины для рассматриваемого класса систем: Автоматизированные Системы Управления Цепями Поставок (АСУ ЦП) и их подсистемы Автоматизированные Системы Планирования Цепей Поставок (АСП ЦП).

Для целей определения АСП ЦП рассмотрим более подробно текущее состояние вопроса.

Согласно с Стадтлером [135], основой для построения системы управления цепями поставок помимо прочего является расширенное (интегрированное) планирование и соответствующие поддерживающие информационные технологии (рисунок 49).



**Рис. 49 – Основа для построения системы управления цепями поставок**

Считается, что передовыми информационными технологиями с точки зрения поддержки интегрированного планирования на сегодняшний день являются системы класса Advanced Planning and Scheduling (APS) [76,135, 121,141,28] (рисунок 5).

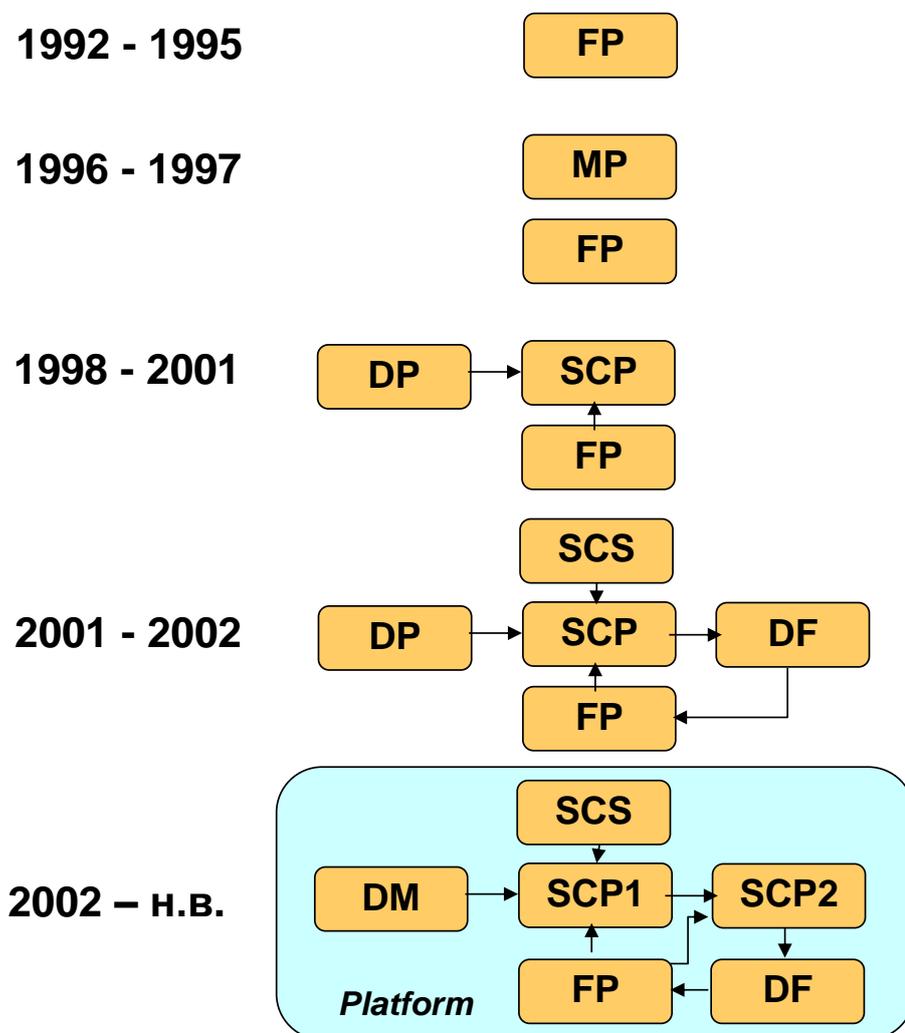
Однако, как было указано выше, существуют определенные сложности с однозначной классификацией этих систем, также отсутствует общепринятая терминология в этой области. Помимо этого функциональные границы смежных систем (например, ERP [18,2]) претерпевают изменения, что также вносит свою долю неопределенности.

Для целей настоящей работы проведем исследование определения и функциональных границ рассматриваемых систем, а также смежных с ними систем, с которыми происходит взаимодействие в процессе планирования.

Известны следующие варианты перевода термина APS на русский язык: расширенное планирование и диспетчирование [76], инновационное планирование и составление графиков работы оборудования [48], прогрессивное планирование и графикование [55], синхронное планирование

производства, оптимизированное производственное планирование, усовершенствованное планирование, улучшенное планирование, оптимизированное и синхронное планирование, точное планирование и даже «аккуратное планирование».

Следует отметить, что причиной узкой трактовки термина APS как планирования «производства» является история развития этого класса систем. На рисунке 50 приведена история развития APS от ведущего поставщика решений SCM – i2 Technologies (в настоящий момент часть JDA). Опыт этого поставщика решений интересен также тем, что его первая система APS (по планированию производства) была внедрена в металлургической компании TimkenSteel.



*Рис. 50 – Эволюция APS на примере ведущего поставщика решений SCM*

На рисунке 50 используются следующие сокращения FP – Factory Planner (планирование производства), MP – Master Planner (Мастер планирование), SCP – Supply Chain Planner (планирование цепи поставок), DP – Demand Planner (планирование спроса), DM – Demand Management (управление спросом), DF – Demand Fulfillment (выполнение плана спроса), SCS – Supply Chain Strategist (стратегическое планирование цепи поставок).

Существует не меньшее количество различных определений для APS систем.

*APS – это комплекс технологий, бизнес процессов и метрик эффективности, которые позволяют производственным компаниям конкурировать более эффективно на глобальном рынке. Указанные технологии включают программное и аппаратное обеспечение, которые позволяют организациям изменять их подход к планированию, составлению расписаний, прогнозированию, к доставке и взаимодействию с потребителем и поставщиками [130].*

*APS – это система, которая покрывает подобно зонту всю цепь поставок, таким образом позволяя собирать информацию в режиме реального времени из цепи для расчета реалистичного расписания, в результате которого достигается быстрый и надежный ответ потребителю [140].*

*В словаре APICS [112] APS система определена следующим образом: Техники, которые занимаются анализом и планированием логистики и производства на краткосрочном, среднесрочном и долгосрочном временных периодах. Под APS системой подразумевается любая компьютерная программа, которая использует продвинутое математические алгоритмы и/или логику для оптимизации или имитационного моделирования на конечных мощностях составления расписаний, закупок, планирования капитала, планирования ресурсов, прогнозирования, управления спросом и прочего. Эти техники одновременно учитывают ряд ограничений и бизнес правил для обеспечения планирования и составления расписаний в режиме реального времени, для поддержки принятия решений, для обещания заказов с учетом*

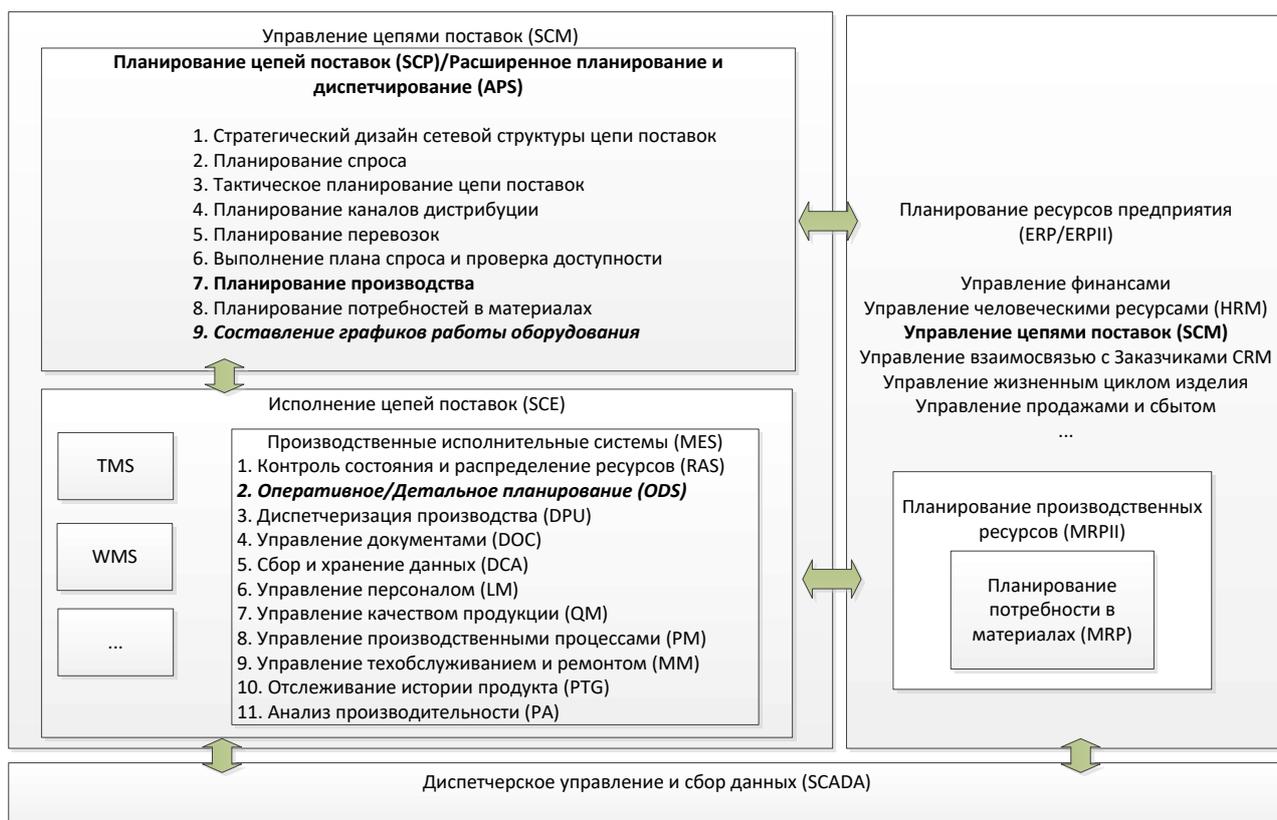
*свободных материалов и доступных мощностей. APS системы, как правило, позволяют генерировать и оценивать несколько сценариев.*

Структура APS систем [76,135] совместно со смежными системами представлена на рисунке 51.

Как отмечает Иверт в своем труде [125], для обозначения APS систем также используются и другие термины, что может вызвать путаницу. В частности, синонимами APS являются: advanced planning and optimization (APO), supply chain planning (SCP) и advanced supply chain collaboration. Кроме того, многие концепции пересекаются друг с другом, в связи с чем становится сложно получить четкую картину функциональности для каждого случая. К примеру, модули систем APS часто тесно связаны с модулями ERP системы и из-за этого становится сложно определить, какой модуль к какой системе принадлежит. Другое объяснение неоднозначности определения APS систем связано с тем, что производители программного обеспечения называют свои решения APS, при этом функциональность решений разных производителей может значительно отличаться. Ведущие производители ERP систем [119] также дополняют свои пакеты решений функциональностью APS для завоевания лидирующих позиций на рынке (рисунок 51). При этом не всегда исследователи в области управления цепями поставок успевают за инновациями ERP производителей.

Можно также отметить частичное пересечение по функциональности в ряде случаев модулей APS с модулями Manufacturing Execution Systems (MES): ODS модуль оперативно/детального планирования (рисунок 51 – выделено жирным шрифтом) [102,103,27,104,105,101,26]. Так некоторые производители MES систем пытаются расширить функционал оперативно/детального планирования (ODS) до уровней составления расписаний APS или даже производственного планирования APS [104,105,26]. Последнее в большей степени относится к производителям программного обеспечения для дискретного производства. В свою очередь, производители некоторых APS

систем выходят за рамки интегрированного планирования и добавляют модули, традиционно относящиеся к учету (MES): Broner Metals.



**Рис. 51 – Информационная поддержка интегрированного планирования**

Все это приводит к тому, что не всегда легко выделить инновационные и реальные характеристики систем интегрированного планирования, используя вышеприведенные определения.

Следует также отметить, что на сегодняшний момент ряд исследовательских организаций и компаний: Gartner, FORAC, LOGIS стали разделять системы интегрированного планирования на разные поколения. Gartner разделяет системы согласно со своей пятиуровневой моделью зрелости цепи поставок (Gartner Maturity Model for Supply Chain), в частности, стоит отметить Системы Записи (Systems of Record), Дифференцированные Системы (Systems of Differentiation SOD) и Инновационные Системы (Innovation Systems). FORAC разделяет системы планирования на стандартные APS и распределенные d-APS[134]. LOGIS также разделяет APS на 2 поколения.

С целью уточнения определения системы интегрированного планирования рассмотрим его на основании сравнения с решениями предыдущего поколения и дополним определение при необходимости.

#### 4.2. Разработка требований к информационной поддержке интегрированного планирования нового поколения

Один из распространенных способов описания АСП является рассмотрение их через призму недостатков решений предыдущего поколения (таблица 10).

Таблица 10

#### Сравнительный анализ ERP и АСП

Критерий	ERP	АСП
Планирование материала и мощности	Последовательное	Одновременное
Разделение планирования	Разделение по функциональным областям	Интегрированное планирование
Прием и обещание заказов	Статичное	Динамическое
Типы ограничений	Только мягкие ограничения	Жесткие и мягкие ограничения
Цикл выполнения заказа	Фиксированный	Гибкий
Возможности моделирования	Слабые	Высокие
Наглядность планирования	Локальная	Локальная и глобальная
Скорость перепланирования	Низкая	Высокая
Финансовая оценка возможностей	Низкая	Высокая

Одно из таких сравнительных определений звучит следующим образом:

*В отличие от предыдущих систем (ERP/II/MRP/II), APS (АСП) одновременно учитывает ограничения по доступным материалам, трудовым ресурсам и мощности оборудования при планировании и составлении расписаний производства [111,114].*

Это определение описывает характеристики АСП в наиболее широко принятой трактовке на сегодняшний день. Стоит заметить, что трудовые

ресурсы могут быть выражены и через мощность. Так что можно сказать, что АСП это планирование в условиях ограничений по доступным материалам и мощностям. Также, обратим внимание на то, что фраза в определении АСП «одновременно учитывает» больше относится к материалам и мощности, чем к планированию и составлению расписаний.

Можно найти много примеров успешных внедрений этих систем в различных отраслях. Результаты этих внедрений часто высоко оцениваются на предприятиях [113,135]. В то же время существует немало примеров проектов, в рамках которых стандартные технологии АСП дали меньше, чем ожидалось или даже полностью не оправдали себя [120,123,124,135].

Основная причина неудач часто связана с рядом недостатков стандартных АСП систем, которые не позволяют им решать определенный спектр задач. Так, ряд специфических характеристик промышленного предприятия ограничивает возможность эффективного внедрения стандартных АСП. Чем более явственно проявляется эта специфика у предприятия, тем меньше возможности использования стандартной АСП для эффективного планирования.

В рамках настоящей работы проводится анализ стандартных технологий АСП (далее АСП первого поколения) с точки зрения их недостатков при использовании в условиях промышленных предприятий. Исследуются свойства АСП нового поколения. Уточняется определение отличительных характеристик этих систем по сравнению с решениями предыдущего поколения. Приводится сравнительный анализ систем планирования нескольких поколений.

Определение, приведенное в начале настоящего подраздела, не подходит для случаев, когда в системе планирования требуется учесть что-то большее, чем ограничения по материалам и мощности. Например, существуют такие среды планирования, для которых важную роль играют специфические ограничения (технология или прочее). Первое поколение АСП не поддерживает учет специфических ограничений. Т.е. чем более существенное специфическое ограничение существует в производстве, тем менее реалистичный и ценный получается план, который не учитывает его.

*Пример: Производители специальных сталей имеют в своем сортаменте сотни различных марок стали, которые различаются по химическому составу [118, 38,51]. Химический состав стали является существенным ограничением для них. Он оказывает значительное влияние на процесс планирования материального потока, а также на процесс планирования плавки. В случае если система планирования будет учитывать только ограничения по доступным материалам и мощности, то качество такого плана будет недостаточным и потребуются его дальнейшая доработка.*

Работа со специфическими ограничениями не единственный недостаток первого поколения АСП. Можно дать специальное определение такой среде планирования, в которой АСП первого поколения не могут выдать хорошего результата, – комплексная среда планирования. Если оставлять в стороне «субъективные» аспекты каждого конкретного случая (в т. ч. готовность компании, участвующей во внедрении изменений, качество конкретного решения АСП, а также квалификация команды заказчика и исполнителя), то можно выделить следующие характеристики комплексной среды планирования:

1. Уникальность технологических процессов (отраслевая специфика).

Это среда, где вдобавок к ограничениям по доступным материалам и мощностям важную роль играют еще и другие ограничения и правила. Так примером отраслевой специфики металлургических производств являются следующие: единичное и/или мелкосерийное производство; основное узкое место, как правило, выплавка и разливка; длительность производственного цикла; производственные кампании.

В такой среде задачи моделирования настолько уникальны, что их нельзя решить посредством изменения параметров стандартных алгоритмов, заложенных в АСП. Возникает потребность в изменении самого алгоритма или даже добавлении нового. Таким образом, можно сформулировать первое требование к планированию в комплексной среде: потребность вносить

изменения в алгоритм планирования и/или создавать новые алгоритмы планирования.

Другая проблема возникает, когда природа ограничений такова, что решение задачи планирования для заданного набора ограничений не может быть выполнено в рамках одного расчетного модуля. Т.е. требуется декомпозиция задачи планирования на ряд подзадач и их решение несколькими различными расчетными модулями.

## 2. Масштаб и комплексность технологических процессов.

В связи с тем, что комплексная среда отличается сложностью и масштабностью, возникает потребность в привлечении нескольких специалистов к решению задачи планирования (многопользовательское планирование). Сложно представить, чтобы один планировщик был в состоянии решить задачу качественного планирования всей цепи поставок с учетом детальных ограничений. Это особенно актуально, в случае если планировщик в процессе планирования использует специфическую информацию, свои навыки и знания, которые сложно или невозможно формализовать в виде бизнес правил и ограничений. Это также подразумевает необходимость выполнения требований по синхронизации материальных потоков между различными участками цепи поставок с учетом имеющихся глобальных бизнес целей, а также по синхронизации календарного плана с детальными расписаниями работы оборудования.

## 3. Сложность формализации и непредсказуемость.

Сложность формализации правил и ограничений для технологических процессов, а также величина неопределенности в них увеличивает долю ручного труда при составлении плана. Возможность автоматизации в этом случае ограничена, и роль планировщика и его ручных корректировок значительно возрастает. Это приводит к необходимости обеспечения эффективной поддержки работы планировщика в системе планирования с акцентом на индивидуализацию, динамичность и эффективность рабочего окружения планировщика.

#### 4. Высокая неопределённость и чувствительность к изменениям.

Высокая неопределенность и чувствительность к изменениям в комплексных средах диктует потребность в возможности быстрого перепланирования, снижения инерционности планирования. Однако требование к быстрому перепланированию не должно отражаться на детализации (точности) модели (важно, чтобы планировщики имели возможность включать в модель специфические ограничения – см. пункт 1 «Уникальность технологических процессов» выше) и на высокой степени интеграции шагов процесса планирования. Там, где есть объективная потребность использования команды планировщиков, необходимо иметь возможность эффективно управлять такой командой.

Можно с большой долей уверенности заявить, что чем больше выражены в конкретной среде указанные характеристики (от 1 до 4), тем хуже будет результат планирования с использованием технологий АСП первого поколения.

В таблице 11 (второй столбец) представлено краткое описание того, каким образом требования комплексных сред поддерживаются традиционными системами АСП.

Таблица 11

#### Требования комплексных сред планирования

Требуемая функциональность	Покрытие в АСП первого поколения
Интеграция участников цепи поставок в рамках единого информационного пространства планирования (стратегического, тактического или оперативного) в режиме реального времени	Архитектура, как правило, базируется на отдельных АСП модулях, используемых независимо друг от друга участниками цепи поставок. Эти модули связаны между собой потоками данных. Синхронизация (если она предусмотрена) между модулями происходит на периодической основе.
Интеграция функциональных областей (сбыт, транспортная логистика, производство, закупки, финансы) в рамках единого информационного пространства планирования (стратегического, тактического или оперативного) в режиме реального времени	Часто имеет место разделение функции планирования по функциональным областям
Внесение изменений в алгоритм планирования и/или добавление новых алгоритмов планирования	Как правило, изменение алгоритмов или разработка новых не поддерживается
Использование нескольких расчетных модулей при создании плана или расписания (декомпозиция задачи на ряд подзадач)	Чаще всего используется только один расчетный модуль, способный работать только с определёнными типами проблем (например, планирование материалов и мощности в соответствии с их доступностью)

Поддержка планирования команды планировщиков	Если система АСП поддерживает многопользовательский режим, то обычно, это ведёт к скрытым конфликтам, что уменьшает ценность плана
Настраиваемое и эффективное рабочее окружение планировщика	Индивидуализация рабочего пространства (для конкретной установки или для конкретного планировщика), как правило, ограничено жестко фиксированным набором параметров, что приводит к невозможности существенных модификаций интерфейса или включения отдельных дополнительных инструментов
Интеллектуальная автоматизация и интеграция процесса планирования	В комплексных средах, где сложно обойтись только одним решением по планированию и/или составлению расписаний, часто используется связка нескольких специализированных решений; однако, такая концепция приводит к снижению возможности автоматизации и интеграции
Эффективное управление командой планировщиков	Системы АСП первого поколения не имеют встроенных инструментов управления командой планировщиков

Представленный анализ соответствия требованиям комплексных сред планирования к информационной поддержке позволяют сформулировать ключевые характеристики технологий АСП нового поколения.

#### **4.3. Определение характеристик систем интегрированного планирования нового поколения**

Для определения системы планирования нового поколения необходимо описать ее преимущества в сравнении с решениями предыдущего поколения.

*В отличие от первого поколения, новое поколение АСП поддерживает интегрированное планирование цепей поставок, эффективно учитывая существенные ограничения.*

Можно выделить следующие ключевые характеристики в этом определении:

##### *а) Существенные ограничения*

Ограничения по доступным материалам и мощности присущи подавляющему большинству бизнес-процессов в цепях поставок. Однако многие цепи поставок имеют еще и ряд других ограничений, часть из которых может быть весьма существенна. Некоторые из них могут быть настолько

важны, что если не учитывать их при составлении плана, то результат планирования будет нереалистичным.

«Существенность» – это относительное понятие. Сложно объективно оценить – что является существенным. На самом деле, чем реалистичнее требуется результат планирования, тем более сложный набор ограничений необходимо внести в систему планирования.

#### *б) Эффективно*

К отличительным чертам АСП первого поколения можно действительно отнести характеристики «одновременного» учета ограничений. Но это скорее выражает технический аспект планирования, чем полезность. Это предполагает, что, если планирование осуществляется таким образом, что ограничения будут рассмотрены одновременно, то это будет гарантией наилучшего достижимого результата.

Однако задача планирования – это составление наиболее полезного плана. Многие другие факторы могут влиять на планирование помимо способа учета ограничений. Способом повышения полезности может быть, например, более эффективное использование источников информации или поддержка эффективного анализа «что-если» и т. п. Но даже тогда, когда мы ищем возможности для улучшений через увеличение числа ограничений, придерживаясь принципа одновременного учёта ограничений, мы не всегда можем достигнуть наилучших результатов, например, для окружений с неоднородными проблемами (проблемы, которые не могут быть решены только применением одного метода решения). Лучший результат может быть достигнут за счет решений, основанных на кооперирующих расчетных модулях и итерационном расчете. В этом случае неверно говорить об одновременном учете ограничений.

#### *в) Цепи поставок*

Часто производство доминирует в цепях поставок промышленных предприятий, это особенно актуально для металлургических предприятий, хотя оно и не является единственным задействованным звеном. На многих

предприятиях, для удовлетворения спроса необходимо, например, приобретение материалов, полуфабрикатов или компонентов. Важно подчеркнуть, что управление закупками сырья часто выделяется в отдельный процесс, хотя он и тесно связан с производством. На других предприятиях важная роль в удовлетворении спроса может быть отведена другим функциональным областям. Эти особенности могут играть очень важную роль в том, насколько эффективно предприятие может удовлетворить спрос.

Очевидно, что, рассматривая системы АСП, целесообразно говорить не только об отдельной функциональной области, но о цепях поставок в целом.

Таким образом, с учетом описанных характеристик технологий интегрированного планирования нового поколения автор предлагает уточнить структуру модулей АСП нового поколения (рисунок 52).



*Рис. 52 – Структура АСП ЦП нового поколения*

Как можно увидеть, ключевым структурным изменением является консолидация отдельных функций: планирования потребностей в материалах, планирования производства, планирования дистрибуции, составления расписаний работы оборудования и планирования перевозок в рамках общего информационного пространства оперативного планирования цепи поставок. Еще одним отличием является уточнение горизонтов процесса планирования спроса. Планирование спроса (прогнозирование) на металлургических предприятиях в основном осуществляется на стратегическом и тактическом горизонтах. На оперативном уровне уже осуществляется прием заявок

клиентов. В редких случаях, когда портфель заказов предприятия составляет менее одного месяца возможна декомпозиция прогнозных заказов с тактического уровня планирования на оперативный.

*Технологии планирования и их достаточность для эффективного управления*

Как уже было отмечено ранее, в одних случаях применение АСП первого поколения дает хорошие результаты, в других результаты не оправдывают ожиданий. Решающее значение имеет комплексность среды планирования.

Ниже приводится сравнительный анализ ценности различных технологий планирования для разных сред.

Как уже было упомянуто выше, комплексные среды планирования характеризуются следующими атрибутами: уникальность технологических процессов, их масштаб и комплексность, сложность формализации и непредсказуемость, неопределенность и чувствительность к изменениям. Предположим, что точка 0 на оси сложности среды планирования на рисунке 53 будет означать такую среду, где для построения реалистичной модели планирования достаточно учитывать только наличие мощности и материалов (примечание: от реалистичности модели зависит качество плана, построенного в конкретной системе планирования).

Для оценки ценности конкретной технологии планирования введем следующие три критерия:

Реалистичность плана, которая может быть достигнута с использованием данной технологии.

Если план может быть выполнен во всех деталях (независимо от уровня детализации), при условии отсутствия объективных факторов, препятствующих выполнению плана, то план полностью реалистичен. Однако, чем большее возникает отклонений плана от факта (например, перегрузка мощностей в определенные периоды), тем меньше его реалистичность.

Преимущество, получаемое от использования плана.

Преимущество от использования плана определяется тем, в какой степени в данной ситуации план использует доступные возможности для того, чтобы наиболее эффективно способствовать достижению бизнес целей (пример: максимизация качества сервиса при максимальной производственной эффективности).

Достаточность данной технологии для создания плана.

Достаточность – это возможность использовать результат, полученный с помощью системы планирования, без дополнительных доработок результата вне системы (например, вручную, с использованием Excel или других инструментов).



**Рис. 53 – Ценность систем планирования в зависимости от потребностей среды**

Точкой отсчета выбраны технологии MRP II (Manufacturing Resource Planning) [18], которая используется сегодня практически в любой современной ERP системе. MRP II может быть полезна для предприятий с простой средой планирования (рисунок 53) и низким конкурентным давлением. По мере того, как характеристики среды усложняются, ценность технологии MRP II быстро

падает. Планы в такой системе часто дорабатываются в ручном режиме с помощью электронных таблиц.

АСП первого поколения (в дальнейшем АСП I) удовлетворяет потребности планирования простой среды гораздо лучше MRP II. В начальной точке отсчета эта система максимально эффективна. По мере роста сложности среды АСП I теряет свою полезность. Она не в состоянии справиться с проблемами, связанными с комплексными средами (таблица 11). Полезность АСП I резко падает по мере увеличения количества действительно сложных ограничений, учет которых необходим для получения реалистичного плана.

Полезность нового поколения АСП (в дальнейшем АСП II) в этом случае наоборот будет высокой. В простых средах ее отличия от АСП I невелики, но, как только требования начинают возрастать, разница с другими технологиями становится очевидной. Только АСП II может эффективно планировать в комплексных средах. Следует отметить, что в случае невозможности формализации ограничения или бизнес правила среды в полной мере в АСП, потребуется доработка результатов планирования в этом случае также. Однако, конечно, это не может считаться недостатком данной технологии, так как задача формализации ограничений в комплексной среде относится к сфере ответственности экспертов.

Можно обратить внимание, что кривая полезности АСП II остается достаточно высокой даже в случае максимальных значений сложности среды. Это связано с тем, что в рамках анализа рассматриваются среды планирования реальных предприятий, где степень неопределенности является конечной величиной.

Необходимо также подчеркнуть, что график на рисунке 53 не основан на каких-то точных числовых оценках. Сравнительный анализ проводился с использованием метода попарных сравнений: выше/ниже, сложные/простые и т.п. Следует также отметить, что определенные решения по планированию в рамках своих категорий (MRP II, АСП I, АСП II) могут отличаться по функционалу.

#### 4.4. Обзор рынка решений автоматизированного планирования цепей поставок для металлургической отрасли

На сегодняшний день существует большое количество научно-исследовательских инструментов, профессиональных средств разработки и бизнес-приложений для оптимизационного моделирования цепей поставок предприятий [76,135].

Примеры наиболее распространенных программных платформ для разработки математических моделей цепей поставок приведены в таблице 12.

Таблица 12

##### Программные платформы для разработки математических моделей

Имитационное моделирование	Математическое программирование
AnyLogic	IBM ILOG Optimization Suite
Arena	C++ Constraint Programming
Matlab Simulink	Matlab Optimization Toolbox
...	...

Использование описанных инструментов предполагает выбор в пользу разработки собственного решения по интегрированному планированию цепи поставок. Разработка собственного решения подразумевает привлечение и удержание команды специалистов с высокой научно-технической квалификацией. Достаточно часто при разработке собственного решения модель получается узкоспециализированной и адаптация подобной модели к изменениям, ее масштабирование является трудоемкой.

##### *Прогнозирование*

К современным тенденциям следует отнести возрастающую роль бизнес-процесса планирования спроса в компаниях и внедрение соответствующих поддерживающих информационных технологий.

Ключевыми требованиями, предъявляемыми к информационной системе планирования спроса, являются:

- доступность данных в режиме реального времени, возможности быстрого перепланирования с автоматическим определением и разрешением исключительных ситуаций;

- возможность учета дополнительной информации, влияющей на будущее поведение спроса;
- обеспечение эффективного взаимодействия в рамках общего информационного пространства со всеми внутренними вовлеченными лицами и внешними партнерами;
- поддержка последовательного процесса многопользовательского планирования во всей организации, обеспечивающий консолидированный взгляд на спрос.

Функциональность информационной системе планирования спроса для металлургического предприятия в части моделирования должна удовлетворять следующим фундаментальным требованиям и характеристикам.

Составление согласованного прогноза спроса с учетом его реализуемости в цепи поставок для всего ассортимента продукции, всех подразделений продаж, в диапазоне до 18 месяцев.

Событийное прогнозирование в режиме реального времени с автоматическим выявлением и разрешением исключений для обеспечения синхронизации прогноза с самыми последними данными об уровне спроса. Требование подразумевает наличие средств автоматического обнаружения и визуализации фактов и событий, оказывающих влияние на прогноз (например, значительное увеличение спроса ввиду маркетинговых акций или появление нового крупного потребителя в регионе, изменяющее структуру спроса).

Возможность корректировки составленных прогнозов на основе маркетинговых данных и мнения экспертов.

Протоколирование допущений, сделанных при планировании и возможность внесения комментариев к прогнозным и фактическим показателям.

Отслеживание точности прогнозирования, в целом исключительных ситуаций.

Создание и анализ различных сценариев прогноза.

Планирование жизненного цикла продукта, составление прогнозов для новых и развивающихся продуктов с короткой историей продаж, прогнозирования спроса на неходовую или нерегулярно-изготавливаемую продукцию:

- многомерная структура данных, т.е. возможность создания и анализа прогноза по нескольким размерностям.

Иерархическая организация данных по каждой размерности. Например:

- группа продукции, стан, вид продукции, продукт;
- год, квартал, месяц.

Использование средств для оперативной аналитической обработки данных и отчетности, автоматическая агрегация и детализация значений показателей согласно иерархической структуре.

Задание рамок (области) прогнозирования в ручном режиме, т.е. возможность выбора конкретных размерностей и уровней в иерархии данных, необходимых и уместных для конкретного этапа прогнозирования. А также автоматическое определение наилучшего уровня прогнозирования на основании ошибки прогноза на исторических данных.

Многопользовательский режим работы и обеспечение целостности данных на каждом шаге планирования.

План-факт анализ в режиме реального времени, возможность использования актуальных фактических данных при прогнозировании.

Применение различных методик статистического прогнозирования:

- возможность использования predetermined прогнозных моделей, таких как тройное экспоненциальное сглаживание, скользящее среднее, множественная регрессия, прогноз периодичности и других;

- возможность создания и использования собственных прогнозных моделей;

- возможность применения нисходящего (сверху-вниз) и восходящего (снизу-вверх) методов прогнозирования;

- автоматическая оценка точности прогнозирования и выбор наилучшей прогнозной модели;
- способность выделения трендов, циклов и сезонной составляющей в спросе;
- способность автоматического выявления выбросов.

На сегодняшний день существует большое количество программно-математических инструментов, предназначенных для поддержки процесса планирования спроса. В таблице 13 представлен обзор наиболее известных решений. Полужирным шрифтом отмечены производители с решениями, которые учитывают отраслевую металлургическую специфику.

Таблица 13

### Основные инструменты прогнозирования

Научно-исследовательские	Бизнес-приложения
Eviews	1С «Прогноз продаж»
SPSS	BFS Forecast Pro
STADIA	<b>PSI Metals/Broner Metals Demand Modeller/ Demand Collaboration</b>
STATA	Demand Solutions Forecast Management
Statgraphics	Forecast Pro
Statistica	Forecsys Goods4Cast:Planning
...	GMDH Shell BF
<b>Универсальные на базе MS Excel</b>	Infor Demand Planner
EIM	<b>JDA Demand</b>
Forecast4AC PRO	KXEN InfiniteInsight
Novo Forecast	Logility Demand Planning
...	<b>OM Partners Demand Forecasting/Web Forecaster</b>
<b>Средства разработки</b>	Oracle Demantra/Oracle RPAS
C++	<b>Quintiq Demand Planner</b>
Mathlab	<b>SAP Demand Planning/SAP F&amp;R</b>
...	SAS Forecast Analyst Workbench
	Statsoft Sales-Forecast

## Стратегическое планирование

На сегодняшний день наиболее востребованными решениями на рынке являются бизнес-приложения, основанные на методах математического программирования. В таблице 14 приведен список ведущих бизнес-приложений по стратегическому моделированию [79,88]. Следует отметить, что на стратегическом уровне возможно использование более широкого набора программных модулей. Тогда как с повышением уровня детализации и появления дополнительных ограничений, свойственных промышленным предприятиям, круг возможных программных решений резко сужается.

Ключевыми требованиями, предъявляемыми к информационной системе стратегического планирования, являются:

- нахождение оптимального решения с учетом ограничений и правил (с возможностями задания целочисленных переменных);
- анализ планов в течение нескольких минут, комплексный сценарный анализ;
- автоматическая проверка целостности модели планирования;
- постоянный, формализованный процесс мониторинга стратегического развития цепи поставок;
- инструментарий для «что-если» анализа.

Возможности по расширению модели без необходимости дополнительных доработок

Таблица 14

### Основные бизнес-приложения для стратегического моделирования

Наименование компании производителя	Наименование продукта	АСП I	АСП II
AspenTech	Distribution Plan Optimizer	+	
<b>JDA Software</b>	<b>Supply Chain Strategist</b>	+	
Infor	Network Design	+	
Llamasoft	Supply Chain Guru	+	
<b>OM Partners</b>	<b>Supply Chain Network Design</b>	+	
Oracle	Strategic Network Optimization	+	
<b>Quintiq</b>	<b>Supply Chain Designer</b>	+	
River Logic	Enterprise Optimizer	+	+

Указанные приложения являются специализированными решениями. Они изначально ограничены задачами оптимизации цепей поставок и наиболее подходят для организации регулярного процесса стратегического планирования компании. Они не требуют от персонала компании, где внедряется продукт, глубоких знаний в области математического моделирования. Всю основную работу по настройке решения выполняют специалисты, после чего пользователи оперируют более простыми для их понимания базами данных для масштабирования модели и обновления данных. Эти решения, как правило, обладают богатым инструментарием для визуализации результатов планирования и проведения сравнительного анализа различных сценариев.

#### *Тактическое планирование и управление портфелем заказов*

Уровень тактического планирования (планирование спроса вынесено в отдельный подраздел) и управление портфелем заказов предполагает более детальную в сравнении со стратегическим уровнем проработку ограничений и правил промышленных предприятий. В связи с этим круг потенциальных производителей соответствующего программного обеспечения резко сужается.

Ключевыми требованиями, предъявляемыми к информационной системе тактического планирования для металлургического предприятия, являются:

- целостный взгляд на цепь поставок с моделированием материальных и финансовых потоков (в части переменных затрат);
- учет при моделировании специфики металлургических процессов;
- сквозная многокритериальная послойная оптимизация деятельности компании.

Ключевыми требованиями для металлургического предприятия, предъявляемыми к информационной системе управления портфелем заказов, являются:

- автоматическое и ручное распределение квот по сортаменту, получаемых из системы планирования цепи поставок, по структуре продаж на основе predetermined правил;
- автоматическое и ручное сопоставление клиентских заказов с квотами;

- проверка даты выполнения заказа на основе актуальной модели цепи поставок.

В таблице 15 приведен список ключевых международных компаний-производителей, с опытом внедрений в разных частях света, которые обладают АСП, учитывающие отраслевую металлургическую специфику.

Таблица 15

**Основные бизнес-приложения для тактического моделирования и управление портфелем заказов, учитывающие отраслевую металлургическую специфику**

Наименование компании производителя	Наименование продукта	АСП I	АСП II
JDA Software	Supply Chain Planner Demand Fulfillment	+	+/-
LOGIS	Master Planner Order Promising	+	+/-
OM Partners	Planner Order Manager	+	+/-
PSI Metals/Broner Metals (часть PSI)	Business Optimizer Order Negotiator CTP Order Negotiator ATP	+	
SAP	Supply Network Planning Global Available-to-Promise	+	
Quintiq	Macro Planner Company Planner	+	+/-

*Оперативное планирование и диспетчирование*

Уровень оперативного планирования и диспетчирования предполагает еще более детальную проработку ограничений и правил промышленных предприятий.

Ключевыми требованиями для металлургического предприятия, предъявляемыми к информационной системе назначения материалов, являются:

- подбор материала начиная от полуфабрикатов и заканчивая готовой продукцией;
- удобное редактирование, добавление, удаление и приоритезация правил назначений;
- поддержка точного соответствия по параметрам (например, химии) и задание допустимых интервалов;

- поддержка автоматического, ручного и комбинированного режимов работы;
- подбор материалов на заказы или заказы на материалы или оптимизация многие ко многим;
- настраиваемые критерии сортировки;
- пользовательские настройки по совместимости материала;
- отчетность в режиме реального времени;
- высокая производительность.

Ключевыми требованиями для металлургического предприятия, предъявляемыми к информационной системе производственного планирования, являются:

- балансировка производства: минимизация недозагрузок и перегрузок ресурсов; учет простоев, управление запасами;
- создание, синхронизация и поддержка в актуальном состоянии планов кампаний различных этапов производства;
- кооперационное планирование: автономные домены планирования для специалистов различных цехов с возможностями интеллектуальной синхронизации;
- возможности внесения ручных изменений;
- функциональность отмены изменений и возврата к предыдущей версии плана, оценка качества альтернативных планов;
- оценка КПЭ планов в режиме реального времени;
- высокая производительность.

Ключевыми требованиями для металлургического предприятия, предъявляемыми к информационной системе диспетчирования выплавки и разливки, являются:

- комбинирование заказов в плавки и плавки в серии разливки;
- автоматическое создание реалистичных расписаний для конверторов, внепечной обработки, разливки одновременно;

- возможности ручных корректировок и сигнализация о нарушении заданных правил;
- учет ограничений следующих производственных этапов при создании расписания заданного ресурса;
- доступность в режиме реального времени показателей эффективности расписаний;
- высокая производительность.

Ключевыми требованиями для металлургического предприятия, предъявляемыми к информационной системе диспетчирования следующих за выплавкой и разливкой участков, являются:

- настраиваемые пользователями алгоритмы составления расписаний;
- поддержка ручных изменений;
- настраиваемый пользовательский интерфейс;
- настраиваемые отчеты;
- КПЭ по расписаниям в режиме реального времени;
- высокая производительность.

В таблице 16 приведены ключевые компании-производители комплексных АСП, в которых учитывается отраслевая металлургическая специфика.

Таблица 16

**Основные бизнес-приложения для оперативного планирования и диспетчирования, учитывающие отраслевую металлургическую специфику**

Наименование компании производителя	Наименование продукта	АСП I	АСП II
JDA Software	Factory Planner Material Allocator	+	
LOGIS	Production Planner Material Allocator Caster Scheduler Mill Scheduler	+	+
OM Partners	Material Allocator Routing Generator Cutting Optimizer Scheduler	+	+/-

PSI Metals (AIS)	Material Flow Planner	+	
Broner Metals (часть PSI)	ProductMatch (Material Allocation) Alpha-Planner (Caster Scheduling) Beta-Planner Module (Hot Strip Mill and Cold Mill Scheduling) Material Planner Production Planner Production Scheduler Caster Scheduler Hotmill Scheduler Despatch Scheduler Melt Shop Control Centre		
SAP	Production Planning and Detailed Scheduling	+	
Quintiq	Scheduler	+	+/-

### *Внедрение модулей АСП*

Комплексное единовременное внедрение всех решений представляет собой крайне сложную задачу в связи со следующим:

- многообразности и сложности затрагиваемых внедрением процессов;
- большим количеством привлекаемых специалистов компании и
- трудоемкости подготовки данных, требуемых для различных уровней планирования.

Помимо трудоемкости и значительной стоимости работ, такое внедрение занимает длительное время (несколько лет) за которое в современном мире происходит большое количество изменений (конъюнктура рынка, слияния и поглощения, организационные преобразования, конкурентная среда и пр.), меняющие условия деятельности компании и, соответственно, требования к внедряемым решениям. Тем не менее в мире существуют успешные примеры, когда внедрение на металлургическом предприятии охватывало сразу весь набор ключевых решений АСП ЦП – подраздел 5.7.

Наиболее эффективным подходом считается концентрация на наиболее насущных потребностях, удовлетворение которых позволит получить существенные выгоды от внедрения в относительно короткие сроки.

Решение о последовательности внедрения модулей АСП и их интеграции между собой принимаются в процессе формулирования и уточнения бизнес требований. Последовательное внедрение модулей обеспечивает постепенное наращивание возможностей решения, с одной стороны не отвлекая одновременно большого количества специалистов компании, с другой стороны непрерывно получая эффекты от внедрения через короткие промежутки времени.

Такой подход позволяет после каждого этапа внедрения непрерывно уточнять постановку задачи и использовать результаты внедрения, в том числе финансовые, для последующих работ.

#### *Вывод*

Из приведенных в настоящем подразделе производителей программного обеспечения для металлургической отрасли критериям АСП нового поколения в полной мере соответствуют решения компании LOGIS. Следует отметить, что число успешных внедрений АСП систем нового поколения этого производителя неуклонно растет. Приведем краткий обзор наиболее значимых внедрений АСП ЦП нового поколения в следующем подразделе.

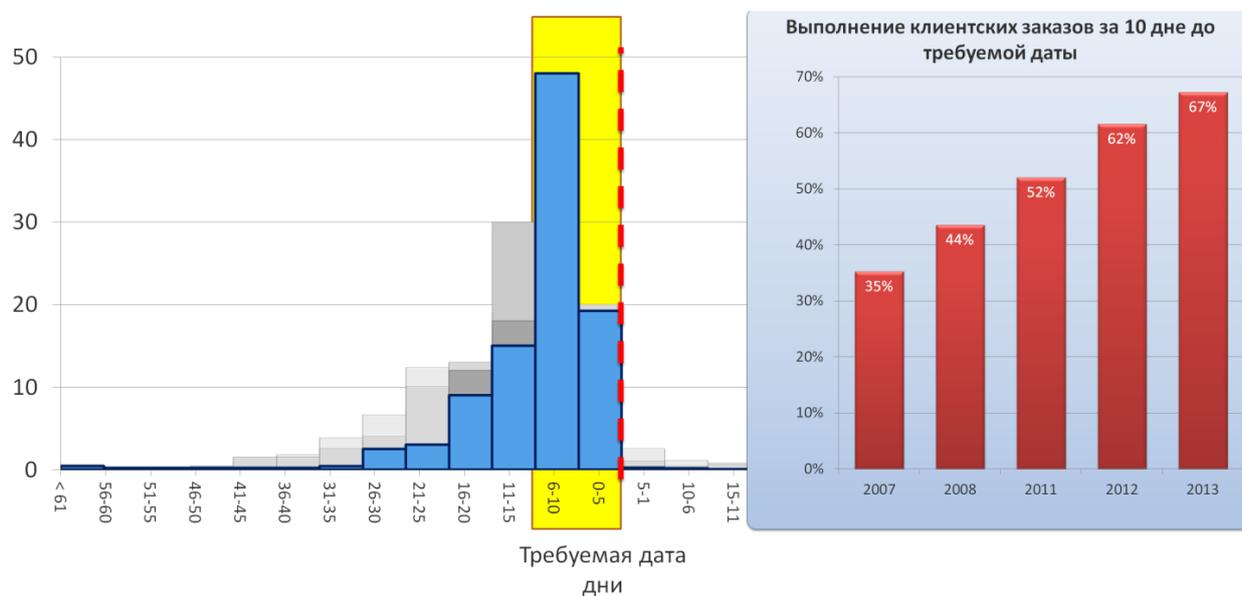
#### **4.5. Анализ внедрения автоматизированных систем планирования нового поколения в ряде российских и международных компаний**

Как было указано выше, число успешных внедрений АСП ЦП нового поколения постоянно растет. В качестве примеров можно отметить успешные проекты в следующих компаниях.

Внедрение элементов АСП ЦП нового поколения (подраздел 5.6.) в Trinecke Zelezarny [55]. Trinecke Zelezarny (TZ) – чешская компания по производству специальных марок стали, один из лидеров по производству стали в Европе.

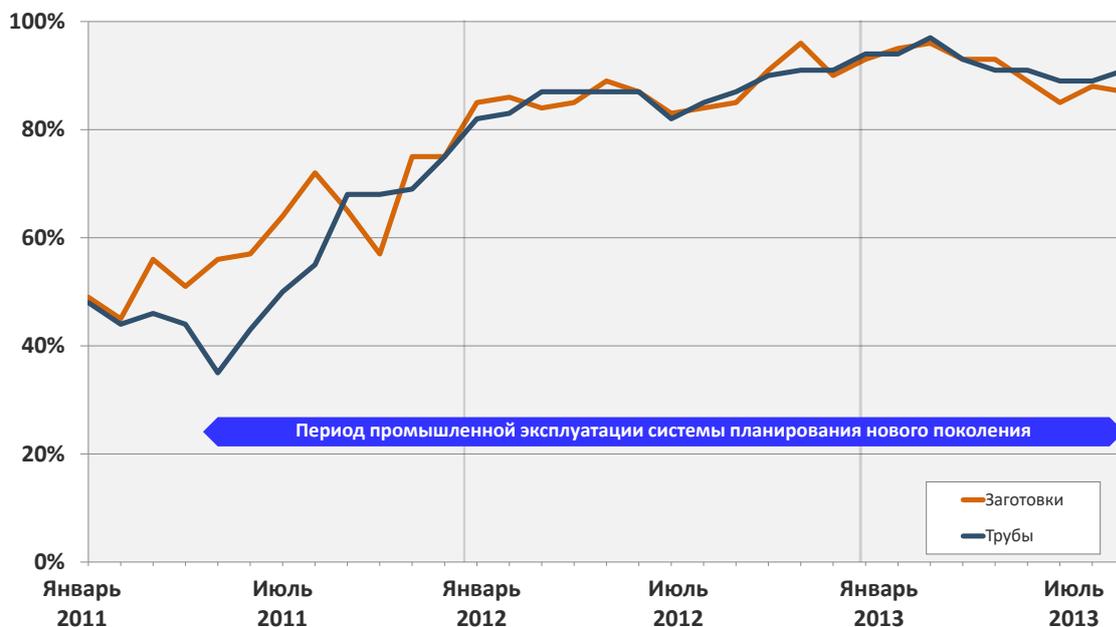
В начале нового тысячелетия TZ приняло решение кардинальным образом изменить свою корпоративную стратегию: сконцентрироваться на высоко конкурентных рынках, в частности на автомобилестроительной

отрасли, и сделать основным сортаментом специальные стали – эта перемена, наряду с другими, повлекла значительное изменение требований к дисциплине отгрузки компании. Основой непрерывных улучшений в компании стала новая информационная система АСП ЦП. Достигнутые результаты значительно превысили первоначальные ожидания (рисунок 54).



**Рис. 54 – Завершение заказов вовремя на 2013 (источник Trinecke Zelezarny)**

Также следует отметить крупнейшее внедрение АСП ЦП нового поколения (подраздел 5.5.) в TimkenSteel [48]. TimkenSteel – американский производитель специальных марок стали с безусловно комплексной средой планирования. В прошлом TimkenSteel использовал ведущую АСП ЦП первого поколения. В связи с этим на проекте появилась уникальная возможность для сравнительного анализа двух поколений АСП. Причем следует отметить, что внедрением обеих систем занималась одна и та же команда со стороны TimkenSteel. Результаты проекта внедрения АСП ЦП нового поколения оказались очень убедительными. На рисунке 55 показана динамика показатели дисциплины отгрузки готовой продукции до и после внедрения системы планирования нового поколения.



**Рис. 55 – Динамика дисциплины отгрузки заказов в компании TimkenSteel (источник TimkenSteel)**

В 2015 году российская Корпорация ВСМПО-АВИСМА начала проект по внедрению АСП ЦП нового поколения [96] совместно с компанией LOGIS. В 2016 году они сообщили об успешном вводе в промышленную эксплуатацию первой очереди системы планирования [16]. В рамках первой очереди были решены задачи по синхронизации потоков материалов, обеспечению ритмичности производства, начиная с выплавки титановых слитков и заканчивая отгрузкой готовой продукции на склад. Основой созданной системы планирования стал программный продукт LOGIS Production Planner.

Корпорация ВСМПО-АВИСМА – крупнейший в мире производитель титана, имеющий полный технологический цикл: от переработки сырья до выпуска готовых изделий с высокой степенью механической обработки. Корпорация поставляет продукцию на рынки 50 стран, глубоко интегрирована в мировую авиакосмическую индустрию и является для многих компаний стратегическим поставщиком.

В подразделах 5.2., 5.3., 5.4. настоящей работы также приведено описание успешных проектов по внедрению систем интегрированного планирования в

компаниях ММК [84], ОМК [4,86], Северстали. В подразделе 5.8. приведен опыт внедрения системы стратегического планирования.

Можно утверждать, что с существующей динамикой, в скором времени АСП ЦП нового поколения, которые покрывают потребности комплексных сред планирования, займут существенную долю рынка систем по управлению цепями поставок. Главная причина для этого заключается в том, что современные компании продолжают развиваться, усложняются информационные, материальные и финансовые потоки в их цепях поставок, возрастает комплексность их сред планирования.

## **ГЛАВА V. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОТРАСЛИ**

### **5.1. Оценка экономической эффективности внедрения методологии интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий**

Выведение обобщенной оценки экономической эффективности методологии интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий представляется крайне сложной задачей. Это связано с тем, что экономическая эффективность внедрения этой методологии или ее элементов индивидуальна для каждого предприятия в зависимости от его специализации и этапа развития, выбранного в качестве точки отсчёта. Тем не менее накопленный практический материал таких производителей АСП ЦП как i2 Technologies и LOGIS позволяет на основании статистики определить основные ориентиры по оценке возможных улучшений ключевых показателей эффективности промышленных предприятий металлургической отрасли (таблица 17).

**Статистика результатов внедрений элементов методологии интегрированного планирования цепей поставок  
промышленных предприятий на предприятиях металлургической отрасли**

Компания	Качество клиентского сервиса			Операционная эффективность		Экономика	
	Повышение дисциплины отгрузки	Сокращение времени выполнения заказа	Сокращение времени планирования заказов	Повышение производительности	Сокращение запасов и НЗП	Рост продаж	Увеличение прибыли
TimkenSteel	с 50% до более 90%	с 4 до 2 недель (50%)	до нескольких часов		40%		
Trinecke Zelezarny	до 98,5%		до дня			100%	
LTV Copperweld	с 80% до 97%		до дня		25%		
Sharon Tube	с 40% до >90%	с 14 до 4 дней по хол. прокату	до дня	4%	>40%		
V&M Star	98,80%	10%	до дня	6%	>10%		
Timken Bearings	20%	35%	до дня	20%	40%		
Logan Aluminum	>95%		до дня	10%			
Iscor Steel (группа Arcelor Mitall)	с 55% до 85%		до дня		3%		
US Steel	25%	50%	до дня		35%		
Worthington Steel		33%	до дня		50%		
BHP Steel (Bluescope Steel Limited)			до дня		50%	100%	
Bethlehem Steel (группа Arcelor Mitall)	с 85% до 95%	15%	до дня				
Wheeling-Pittsburgh Corporation	с 50 до 80%	10-20%	до дня		30%		
Usinor (группа Arcelor Mitall)							>\$200M

## Окончание таблицы 17

Edelstahl Witten Krefild (EWK)	с 72% до 85%	>30%	до дня		40%		
J&L Specialty Steel		с 3,5 до 2 нед	до дня		60%		\$15M
Galvak			до нескольких часов		20%		
IMSA	10%		до нескольких часов		30%		
Posco	с 82,7% до 96,9%	с 10 до 8 дней (горячий прокат) (>50%)	до минут				>\$249M (2,7%)
Kawasaki Steel (группа JFE)		50%	до дня		30%		
Российские предприятия	с 1 мес до 1нед (1 дня)	10-20%	до дня	10%	10-50%		до 5%

В таблице 17 используются следующие показатели:

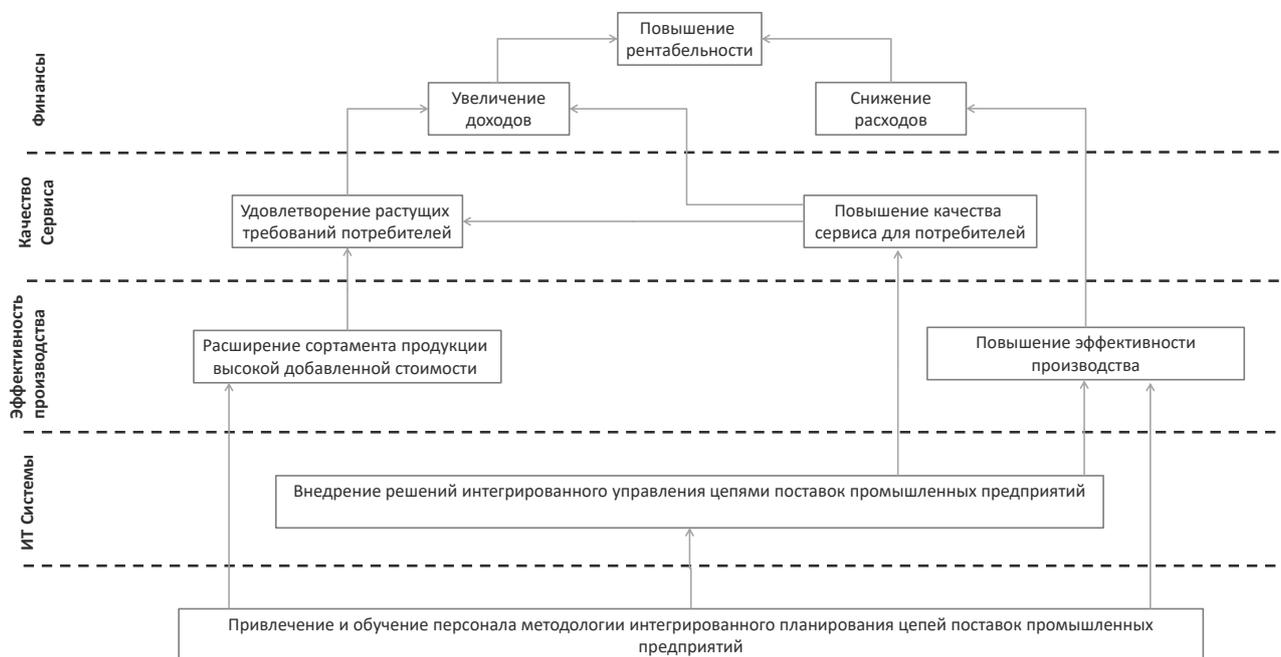
- Дисциплина отгрузки – распределение фактических дат сдачи заказов относительно целевой даты отгрузки, рассчитывается как отношение количества или объема заказов, сданных заранее и вовремя/общее количество или объем заказов.
- Время выполнения заказа – интервал времени между подачей заказа и отгрузкой/доставкой заказанного продукта покупателю.
- Рост продаж – увеличение продаж в натуральном и/или денежном выражении.
- Время планирования заказов – интервал времени между подачей заявки покупателем и предоставлением ему квалифицированного ответа о возможности ее выполнения согласно заданным условиям.

Производительность – способность выпускать то или иное количество продукции, в нашем случае используется как показатель загрузки оборудования.

Запасы и НЗП – запасы сырья, полуфабрикатов, готовой продукции и незавершенного производства.

Прибыль определяется разницей доходов и затраты (в денежном выражении).

Приведем также основные рычаги улучшения финансовых показателей предприятий, используя для этого стратегическую карту согласно концепции Сбалансированной Системы Показателей (рисунок 56).



**Рис. 56 – Типовая стратегическая карта целей для металлургических предприятий**

Таким образом, приведенная статистика улучшений ключевых показателей эффективности металлургических компаний, а также основные рычаги внедрения улучшений, формализованные в виде стратегической карты целей, позволяют определить основные ориентиры по оценке возможного экономического эффекта при внедрении методологии интегрированного планирования для конкретного предприятия.

## 5.2. Тактическое планирование в ММК

В настоящем подразделе анализирует опыт создания системы тактического планирования на Магнитогорском металлургическом комбинате (ММК). Автор исполнял роли директора проекта внедрения и одного из архитекторов системы. В рамках описываемого проекта в ММК были реализованы основные положения метода послойной оптимизации [89].

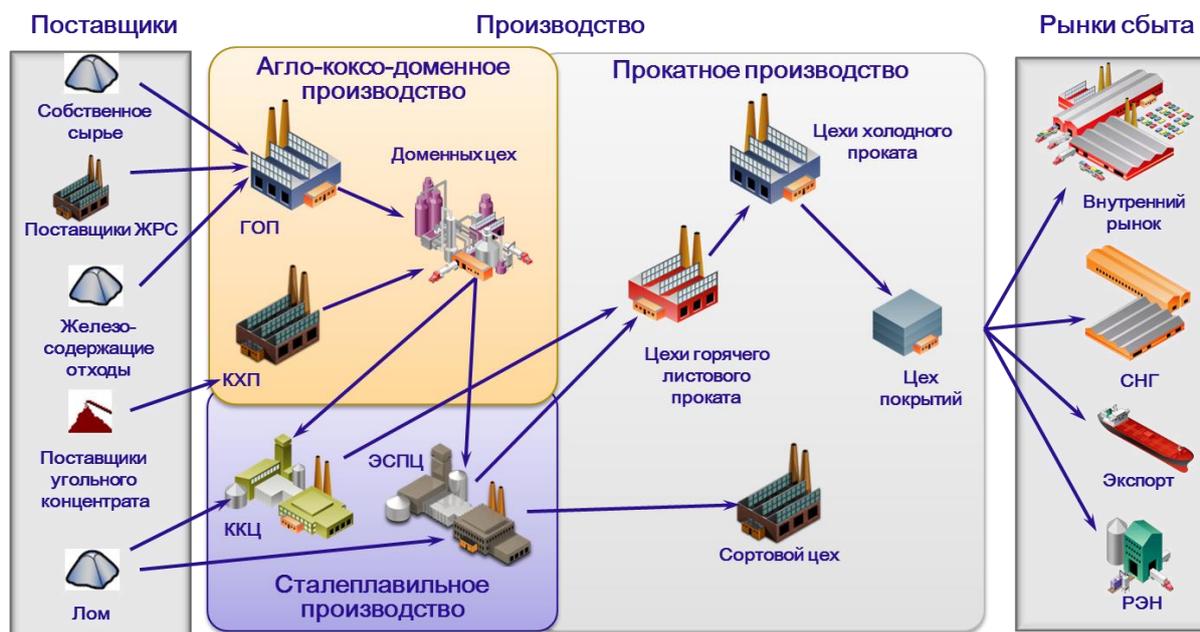
Одними из ключевых стратегических задач развития Магнитогорского металлургического комбината (далее ММК) являются удовлетворение текущих и перспективных потребностей клиентов, расширение сортамента высококачественной продукции, фокус на наиболее маржинальные географические рынки сбыта. Усложнение цепи поставок ММК и планы по ее расширению определили потребность комбината в повышении эффективности процесса тактического планирования производства, разработки и внедрения экономико-математической модели для оптимизации сортамента производимой продукции с учетом логистических ограничений.

Проект по оптимизации планирования цепи поставок стал одним из ключевых компонентов долгосрочной стратегии ММК, направленной на укрепление лидирующих позиций компании на российском и мировом рынках производства стали. Одной из первоочередных задач, которые ставил ММК перед проектом, была интеграция среднесрочного планирования закупок, производства, транспортировок, сбыта и финансов в рамках единой модели. Создание такой модели должно было позволить не только нивелировать риски, связанные с расширением деятельности комбината, но и поднять существующий процесс планирования на качественно новый уровень.

### *Описание компании ММК до внедрения нового процесса планирования*

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» входит в число крупнейших мировых производителей стали и занимает лидирующие позиции среди предприятий черной металлургии России. Активы компании в России представляют собой крупный металлургический комплекс с полным производственным циклом, начиная с подготовки железорудного сырья и

заканчивая глубокой переработкой черных металлов (рисунок 57). ММК производит широкий сортament металлопродукции с преобладающей долей продукции с высокой добавленной стоимостью.



*Рис. 57 – Цепь поставок ММК*

На момент старта проекта по оптимизации производственной деятельности прогноз продаж компании формировался для нескольких десятков групп товарной продукции с учетом доступных ресурсов на планируемый период. На основании этого прогноза формировался план продаж путем разукрупнения этих групп на группы товарной продукции по рынкам сбыта (экспорт, СНГ, Беларусь) и каналам (направлениям) продаж на внутреннем рынке. После этого создавалась производственная программа и рассчитывалась себестоимость продукции. В системе бюджетирования использовался тот же уровень детализации. Основными инструментами для планирования и калькулирования плановой себестоимости были MS Excel и корпоративная информационная система ММК. Основными недостатками данного подхода в планировании являлись: значительное упрощение модели, отсутствие масштабируемости, отсутствие возможности оптимизации портфеля заказов. Все вышеперечисленное определяло необходимость в разработке экономико-математической модели цепи поставок ММК в специализированном инструментарии с возможностью ее последующей оптимизации.

## *Организация процесса тактического планирования*

Внедрение нового процесса тактического планирования цепи поставок базировалась с одной стороны на накопленном опыте компании ММК в области планирования, с другой стороны учитывались такие методологии управления цепями поставок, как SCOR и GSCF.

Как и на большинстве ведущих российских металлургических предприятий, тактическое планирование производства в ММК осуществляется на месячной основе с минимальным периодом планирования – месяц и состоит из двух основных шагов: прогнозирование спроса, синхронизация спроса с имеющимися производственными мощностями.

Очень сложно переоценить важность процесса прогнозирования спроса. Прогноз продаж определяет на будущее вероятностные характеристики спроса и является основой для планирования всей цепи поставок компании.

Процесс прогнозирования спроса начинается со статистического прогнозирования будущих продаж на основании имеющейся информации об отгрузках продукции в прошлом. Прогнозы включают в себя ожидания и оценки по имеющейся сезонности, цикличности, а также по существующим трендам в спросе.

Прогноз, полученный на этом шаге, как правило, носит предварительный характер. Участие специалистов из подразделения Сбыта, знающих потребности клиентов и текущую рыночную ситуацию, необходимо для того, чтобы базовые статистические оценки превратились в прогноз продаж, за который Сбыт готов нести ответственность.

В то же время другие вовлеченные подразделения, могут также внести свою лепту в формирование окончательного согласованного прогноза продаж.

Результатом этого процесса является прогноз потребностей рынка в денежном и натуральном выражении, который не ограничен имеющимися производственными мощностями. Прогноз также содержит информацию о приоритетности спроса. Прогноз продаж является ключевой исходной информацией для второго этапа процесса – синхронизации спроса с имеющимися производственными мощностями. Этот этап является

краеугольным камнем всего процесса. Именно здесь спрос в виде прогноза продаж и предложение в виде производственных мощностей и запасов балансируются в соответствии с заданными бизнес целями предприятия.

Для данного этапа особенно подходит определение процесса планирования как науки поиска и анализа альтернатив для принятия рациональных решений. Для этих целей сначала разрабатывается бизнес модель предприятия. После того как модель верифицирована на основании истории или на основании экспертных оценок, возможно ее использование для оценки результатов принятия тех или иных управленческих решений. Отличительной особенностью применения методов математического моделирования является возможность быстрого расчета и сравнительного анализа большого количества вариантов планов. Традиционный подход зачастую едва позволяет просчитать и проанализировать в отведенное время один единственный вариант.

Основной исходной информацией для процесса тактического планирования цепи поставок являются:

- прогноз с заданной приоритетностью в тоннах в разрезе продуктовой линейки, рынков сбыта и периода загрузки;
- техкарты-маршруты производства;
- информация о входящих запасах позиций в тоннах;
- производительности, формулы (нормы расхода), переменные затраты на операции;
- график ремонтов и текущих простоев оборудования;
- уровни минимальных, максимальных и целевых запасов для различных местоположений.

Результатом работы системы тактического планирования цепи поставок является укрупненный помесечный план снабжения, производства и сбыта предприятия на горизонте планирования до 18 месяцев. Основные результаты включают в себя:

- уровень загрузки каждого производственного ресурса;

- план производства в запас для обеспечения бесперебойности поставок в случае ремонтов производственных ресурсов;
- оптимальный сортамент производства продукции;
- план отгрузок в разрезе групп продукции;
- потребности в сырье и основных материалов;
- оценка запасов и незавершенной продукции на конец каждого интервала планирования в разрезе групп продукции;
- оценка экономической составляющей планов для целей последующего сравнительного анализа альтернатив.

Следует отметить, что основная функция тактического планирования - предоставить возможность руководству просчитать последствия принятия тех или иных управленческих решений заранее и оценить их бизнес эффект. Новый процесс планирования ММК, который основан на применении методов математического моделирования, позволяет эффективно решать эти задачи.

#### *Внедрение системы планирования*

Создание новой системы планирования осуществлялось поэтапно. При проектировании выбирались наиболее эффективные подходы к моделированию производственного комплекса предприятия, а также рассматривался опыт российских металлургических предприятий по управлению цепями поставок и международная практика применения систем планирования цепей поставок.

Одним из ключевых и продолжительных этапов при создании модели был этап подготовки исходных данных. В частности, большой объем трудозатрат пришелся на проектирование и создание целостной кодификации позиций планирования.

Практический опыт показывает, что уровень детализации позиций планирования оказывает существенное влияние на эффективность и жизнеспособность системы планирования.

Продукция, полуфабрикаты и сырье в компании, как правило, для разных задач кодируется по-разному. Бухгалтерия дифференцирует позиции, исходя из задачи корректного исчисления затрат. Сбыт использует наименования

позиций, которые наилучшим образом служат для определения потребностей рынка. Подразделения планирования кодируют позиции исходя из задачи корректного моделирования маршрутов производства. Настоящим вызовом в такой ситуации становится задача приведения к единому знаменателю интерпретации этих позиций различными службами.

В компании ММК для решения этой задачи был внедрен подход на основании лучших практик, согласно которому в компании используется строго иерархическая структура кодирования позиций (рисунок 58). На вершине иерархии располагаются позиции прогнозирования. Эти позиции содержат характеристики продукции, которые необходимы для эффективного общения покупателей и продавцов. На втором уровне иерархии находятся позиции планирования, которые соотносятся с позициями прогнозирования как многие к одному. В основании иерархии находятся позиции учета. Эти позиции также соотносятся с позициями планирования как многие к одному.



**Рис. 58 – Иерархическая структура кодирования позиций**

Проектирование позиций планирования это всегда вопрос поиска компромиссов. Детализация позиций планирования должна быть достаточной для оптимизации производства при этом не должна быть избыточной с точки зрения затрат времени и сил на ее поддержание в актуальном состоянии. В компании ММК такой уровень детализации был найден – не более 800 позиций готовой продукции. Данный уровень был определен на основании сравнительного анализа с другими ведущими металлургическими предприятиями и собственными экспертными оценками специалистов ММК.

При создании модели планирования одним из основных требований, предъявляемых к ней, являлось наличие возможности формирования оптимального портфеля заказов. Необходимо было обеспечить возможность не просто расчета объемного плана, сбалансированного по спросу и имеющимся логистическим мощностям, а возможность подбора заказов, которые обеспечивали бы предприятию максимальную маржинальную прибыль.

Традиционным подходом при анализе маржинальности альтернативных заказов является анализ заказов на основании показателя удельной прибыли. То есть, из выручки от продаж 1 тонны продукции вычитаются переменные затраты на производство 1 тонны продукции. Результаты двух альтернативных заказов сравниваются, и выбирается заказ с наибольшей удельной маржинальной прибылью.

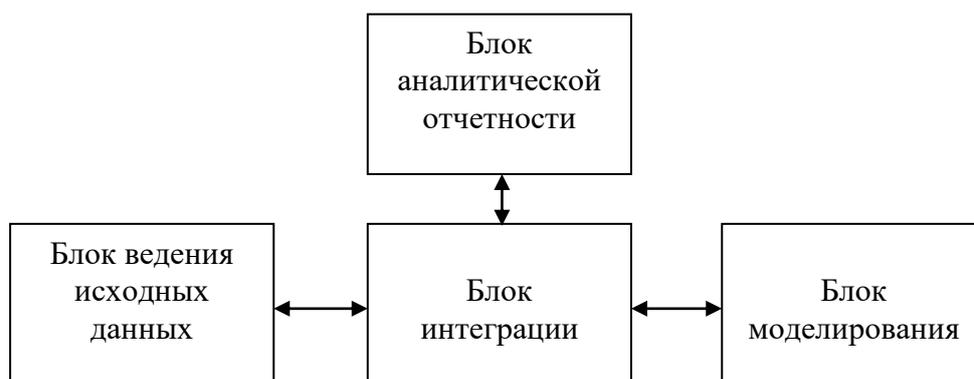
Для того чтобы более наглядно продемонстрировать результат применения такого подхода рассмотрим следующий пример. Имеется два заказа, каждый из которых использует один и тот же ограниченный по мощности ресурс. Первый заказ на рулон горячекатаный шириной 800 мм имеет маржинальную прибыль \$ 250 за тонну, другой заказ на горячекатаный рулон шириной 1100 мм имеет маржинальную прибыль \$ 225 за тонну. Оба заказа нуждаются в обработке на стане горячего проката и порезке на агрегате продольной резки (АПР), которые ограничены по мощностям. При этом производительность горячего стана и АПР для заказа на рулон шириной 800 мм – 400 тонн в час, для рулона шириной 1100 мм – 470 тонн в час. Таким образом, за один и тот же час работы стана горячей прокатки и АПР заказ на рулон шириной 800 мм принесет \$ 100 000 прибыли, тогда как заказ на рулон шириной 1100 мм принесет уже \$ 105 750 прибыли. Таким образом, несмотря на начальные предположения о прибыльности заказов, заказ на рулон шириной 1100 мм более выгоден с экономической точки зрения.

Существуют множество причин, стратегического и коммерческого характера, почему наиболее прибыльный сортамент не всегда идет в производство. Однако в случае благоприятной ситуации на рынке оптимизация производимого сортамента продукции становится очень важным фактором

повышения экономической эффективности компании. Оптимизация производства также важна и в случае падения спроса на рынке. В этом случае компания за счет использования оптимизационных технологий имеет возможность сократить свои издержки и тем самым предложить более выгодные условия для своих потребителей по сравнению с конкурентами.

Исходя из всех этих соображений, в качестве основы будущей системы планирования в ММК были выбраны методы математического программирования, в частности методы линейного программирования. Эти методы уже на протяжении многих лет успешно применяются в промышленности, сельском хозяйстве, логистике, системе здравоохранения. Математическая модель любой задачи линейного программирования включает: целевую функцию, оптимальное значение которой (максимум или минимум) требуется отыскать; ограничения в виде системы линейных уравнений или неравенств; требование неотрицательности переменных. Ключевыми особенностями этого метода являются: детерминированность; динамичность; оптимальность.

В целом архитектуру системы планирования ММК можно представить в виде четырех взаимодействующих блоков (рисунок 59).



*Рис. 59 – Архитектура системы планирования*

Основные функции блоков системы планирования приведены в таблице 18.

### Функции блоков системы планирования

Блок системы	Основные функции
Блок ведения исходных данных	Ведение нормативно-справочной информации для планирования
	Формирование исходных данных
	Контроль исходных данных
	Управление доступом на ведение исходных данных
	Управление обменом данными
Блок интеграции	Обеспечение обмена данными
	Проверка исходных данных
	Хранение версий исходных данных и вариантов плана
Блок моделирования	Расчет плана
	Сценарный анализ
Блок аналитической отчетности	Формирование аналитической отчетности

С запуском системы планирования на основе методов линейного программирования ММК перешел на интегрированный подход к среднесрочному планированию. Созданная модель цепи поставок ММК отражает весь производственный цикл предприятия и включает в себя собственных и внешних поставщиков сырья и материалов, агло-коксо-доменное производство, сталеплавильное производство, прокатное производство с дальнейшим переделом, рынки сбыта. Планирование в рамках единой модели позволяет ММК формировать целостное понимание ключевых факторов, оказывающих влияние на конечный результат, своевременно выявлять возникновение неблагоприятных ситуаций и определять наилучшие альтернативы деятельности комбината.

#### *Результаты*

Реализация проекта по внедрению системы тактического планирования цепи поставок позволила ММК получить важные конкурентные преимущества сразу в нескольких областях деятельности: производственной, сбытовой и финансовой.

В части сбытовой деятельности обеспечены возможности для:

- определения оптимального варианта удовлетворения спроса в условиях существующих рыночных и производственно-технологических ограничений;

- оптимизации сортамента производимой и реализуемой продукции на основе ее прибыльности с учетом производственных ограничений;
- предоставления месячных квот для приема фактических заказов клиентов.

В части производственной деятельности обеспечены возможности для:

- повышения качества планирования производства;
- обеспечения прозрачности процесса планирования производства по всей технологической цепочке.

В части экономической деятельности обеспечены возможности для:

- проведения оценки себестоимости в части переменных затрат по группам и видам продукции, рынкам сбыта;
- формирования исходных данных для процесса бюджетирования.

### *Заключение*

На сегодняшний день одним из основных путей повышения эффективности тактического планирования цепи поставок является синтез высокоинтеллектуального математического инструментария с улучшаемыми бизнес процессами. Результатом этого синтеза является комплексное улучшение в деятельности предприятия. Улучшения затрагивают производственную, сбытовую и финансовую области.

Повышение эффективности производства достигается за счет: увеличения объемов отгрузки, повышения оборачиваемости запасов, снижения производственных затрат. Повышение эффективности сбытовой области достигается за счет: оптимизации портфеля заказов, повышения гибкости удовлетворения запросов потребителей.

Повышение эффективности производства и сбыта неизбежно ведут к улучшению финансовых показателей компании, а именно: увеличение выручки за счет удовлетворения больших объемов и более гибкой ценовой политики, сокращение производственных затрат за счет более оптимального планирования операций.

### 5.3. Реорганизация системы управления трубной компании ОМК

#### Общий анализ подхода к реорганизации системы управления трубной компании

В рамках настоящего подраздела рассмотрен передовой опыт российской трубной компании ОМК [6,52, 86] по реорганизации системы управления цепью поставок с использованием модели процессов SCOR. Автор руководил первой фазой проекта внедрения системы тактического планирования в ОМК, проводил комплексный аудит архитектуры интегрированного планирования цепи поставок.

##### *Описание трубной компании*

Трубная компания обслуживает ведущие российские и зарубежные компании энергетического сектора, а также отечественные предприятия коммунального хозяйства, строительные и торговые компании.

Для удержания лидирующих позиций и удовлетворения будущего спроса, трубная компания активно инвестирует средства в развитие своего бизнеса. Так ее программа развития, в том числе, включает: интеграцию ранее приобретенных заводов в цепь поставок компании; строительство новых производственных мощностей. Цепь поставок компании представлена на рисунке 60.

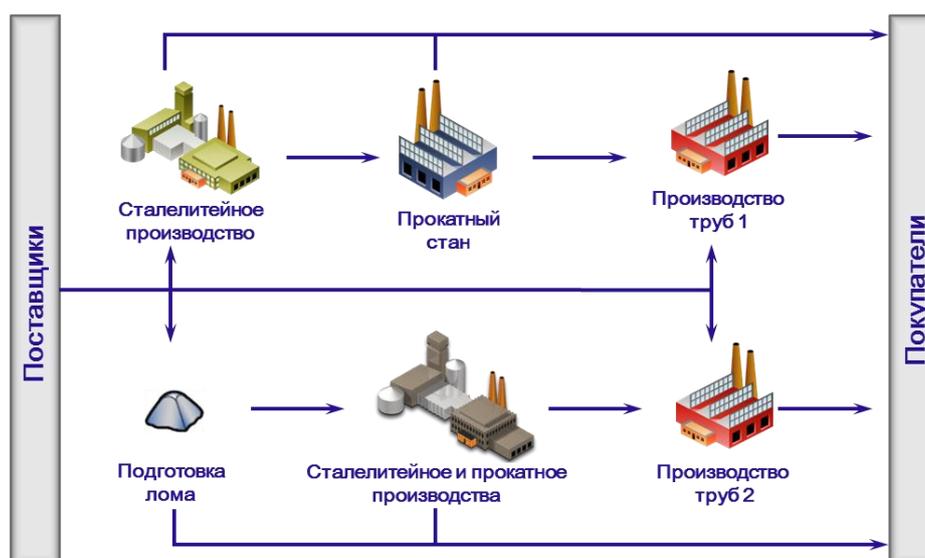


Рис. 60 – Производственная цепь поставок трубной компании

Активная программа развития привела к значительному расширению цепи поставок компании, усложнению материальных, финансовых и информационных потоков внутри нее. Существующие подходы к организации бизнес-процессов компании уже не в полной мере могли покрыть возрастающие требования по качеству управления эволюционирующей логистической системы. В связи с этим руководством компании была поставлена цель по существенной реорганизации системы управления. В качестве методологии будущих преобразований был выбран интегрированный подход на основе принципов управления цепями поставок.

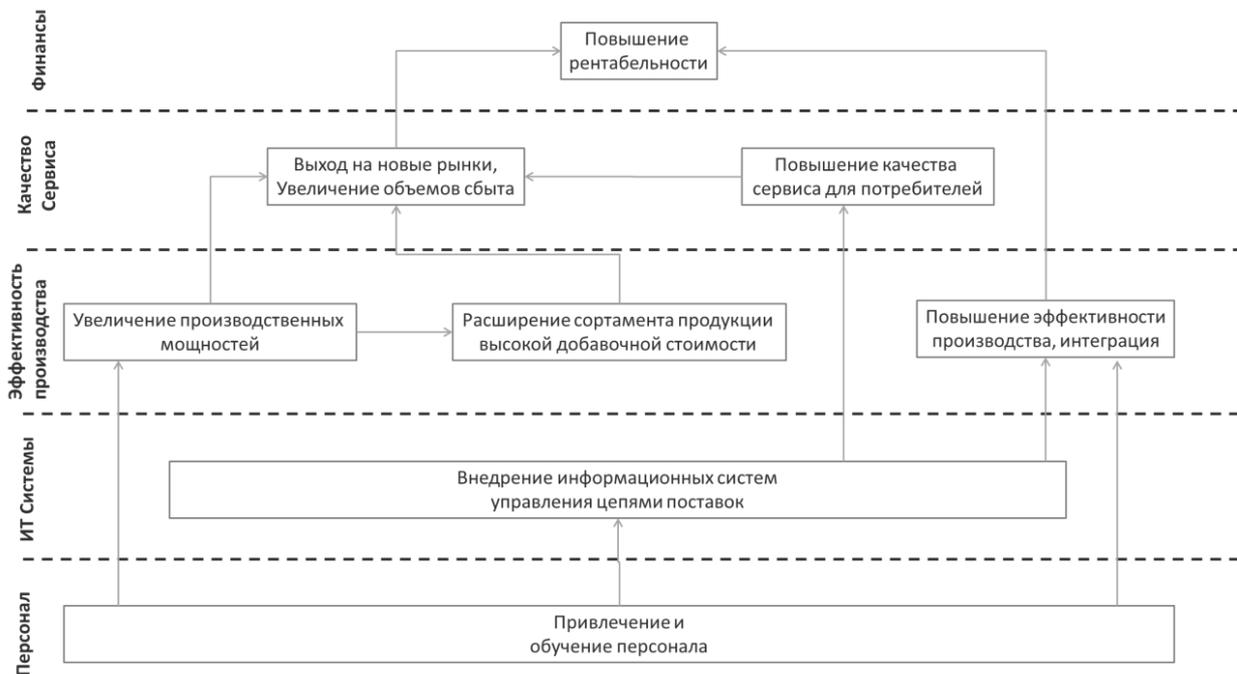
#### *Внедрение улучшений*

На первом этапе была сформирована инициативная группа из сотрудников различных подразделений компании. Также были привлечены эксперты по управлению цепями поставок сторонних консалтинговых компаний. Перед инициативной группой были поставлены следующие задачи:

1. Разработка стратегической карты целей.
2. Моделирование ключевых бизнес-процессов и их оптимизация в соответствии со стратегическими целями, включая определение метрик эффективности и проведение сравнительного анализа с мировыми лидерами.
3. Реформирование организационной структуры, включая проведение обучения персонала, подготовку предложения о системе мотивации на основе показателей эффективности.
4. Внедрение поддерживающих информационных систем.

#### *Разработка стратегической карты целей*

При разработке стратегической карты целей компании использовались принципы методики Сбалансированной Системы Показателей. Корпоративные стратегические цели были структурированы в разрезе пяти перспектив и между ними были установлены причинно-следственные связи (рисунок 61).



**Рис. 61 – Стратегическая карта**

Сбалансированная стратегическая карта компании стала точкой отсчета для реинжиниринга существующих бизнес-процессов компании и декомпозиции стратегических целей на тактические и оперативные уровни.

*Моделирование бизнес-процессов и их оптимизация*

В рамках моделирования бизнес-процессов использовался алгоритм, который позволил смоделировать процесс как есть, провести его оценку и задать вариант организации целевого процесса (рисунок 62).



**Рис. 62 – Алгоритм оптимизации бизнес-процессов**

Проведенный анализ существующих ключевых бизнес-процессов трубной компании позволил выявить следующие типовые недостатки:

- наличие сходных процессов, слабо связанных друг с другом;
- отсутствие владельцев части процессов;
- отсутствие части регламентов;
- наличие ошибок интерфейсов процессов – «подвисшие» входы и выходы процессов;
- недостаточность информации – при принятии решений о размещении заказов в производство не всегда учитывается прибыльность заказов;
- иерархическая незаконченность – процессы были разбиты на подпроцессы, которые вместе не составляли полный процесс.

При разработке целевых бизнес процессов инициативной группой за основу была взята модель бизнес процессов управления цепями поставок SCOR, которая была адаптирована под потребности трубной компании.

Конечная модель целевых бизнес процессов представляла собой набор процессов управления цепями поставок, оказывающих влияние на соответствующие стратегические цели.

Для цепи поставок предприятия были определены ключевые операции по материальному потоку, для каждой операции был определен способ её выполнения:

- под заказ клиента;
- под прогноз;
- иное (по точке перезаказа и др.).

В рамках разработки целевой модели процессов были выделены следующие консолидирующие бизнес процессы, необходимые для обеспечения выполнения ключевых операций:

- планирование продаж;
- определение даты выполнения заказа;
- обеспечение выполнения (планирование);
- обеспечение выполнения (регистрация);

- расчет показателей.

Используя элементы модернизированной модели построения архитектуры предприятия Захмана, каждому процессу было дано определение в виде ответов на вопросы: «Зачем?», «Что?», «Когда?», «Где?», «Как?», «Кто?».

Под каждым из вопросов подразумевалось следующее:

- «Зачем» – зависимая от данного процесса цель;
- «Что» – данные, получаемые в результате процесса;
- «Когда» – временные характеристики процесса;
- «Где» – место исполнения процесса;
- «Как» – способ проведения процесса;
- «Кто» – организационная единица.

Целевая организация ключевых бизнес-процессов трубной компании на основе SCOR приведена в таблице 19.

Таблица 19

### Целевая организация ключевых бизнес-процессов трубной компании

Консолидирующий бизнес-процесс	xCOR	Подпроцесс
Планирование продаж	sP1	Укрупненное планирование
	sEP1	Формирование целей по продажам
	cPS	Планирование продаж
Определение даты выполнения заказа	sD1.2	Прием и обработка заказов
	sD2.2	
	sD1.3	Определение даты доставки готовой продукции произведенной на склад
	sD2.3	Определение даты доставки готовой продукции производимой под заказ
	sP1	Укрупненное планирование доставки труб большого диаметра
	sP4	Планирование доставки
	sP3	Планирование производства готовой продукции
	sP2	Планирование поставки сырья (внеш.)
Обеспечение выполнения (план)	sP4.1	Прогнозирование потребности в доставке готовой продукции (внеш.)
	sD1.3/sD2.3	Корректировка даты/интервала доставки
	sP1	Укрупненное планирование доставки труб большого диаметра
	sP4	Планирование доставки
	sP3	Планирование производства готовой продукции
		Планирование производства полуфабрикатов
	sM1.1	Создание расписания производства
	sM2.1	
	sP2	Планирование поставки сырья (внеш.)
	sS1.1/ sS2.1	Создание расписания поставки сырья (внеш.)

Обеспечение выполнения (регистрация)	sD1.11	Фиксация информации о завершении отгрузки готовой продукции, произведенной на склад
	sD2.11	Фиксация информации о завершении отгрузки готовой продукции, производимой под заказ
	sD2.13	Фиксация информации о завершении доставки готовой продукции, производимой под заказ
	sM2.6	Фиксация информации о завершении производства
	sS2.4	Фиксация информации о факте прихода сырья
	sED3	Сбор и обеспечение доступа к необходимым данным о доставке (в т.ч. отгрузка) готовой продукции
	sEM3	Сбор и обеспечение доступа к необходимым данным о производстве
	sES3	Сбор и обеспечение доступа к необходимым данным о поставке сырья
	sEP3	Сбор и обеспечение доступа к необходимым для планирования данным
	sED6	Управление перевозками готовой продукции
	sEM6	Управление перевозками полуфабрикатов
	sES6	Управление перевозками сырья
	sED4	Управление запасами готовой продукции
	sEM4	Управление запасами полуфабрикатов
sES4	Управление запасами сырья	
Расчет показателей	sED2	Расчет показателей по доставке готовой продукции
	sES2	Расчет показателей по поставке сырья
	sEM2	Расчет показателей по производству

Как было указано ранее, одним из основных преимуществ модели SCOR является возможность не просто выстроить логистические бизнес процессы в компании в соответствии с лучшими практиками, подобрать соответствующие инструменты, но и возможность сравнить стандартизованные показатели эффективности цепи поставок с показателями лидеров отрасли.

Для создания и реализации системы ключевых показателей эффективности подразделений компании на основе модели SCOR использовался подход, приведенный на рисунке 63.



**Рис. 63 – Алгоритм создания и реализации системы ключевых показателей эффективности подразделений компании**

Созданная система ключевых показателей эффективности с одной стороны была использована для сравнения с лидерами отрасли, выявления областей требующих особого внимания. Для этого трубная компания стала полноценным участником Supply Chain Council – организации, которая разработала и развивает модель SCOR. С другой стороны она была предложена в качестве основы для новой системы мотивации персонала.

### *Реформирование организационной структуры*

Параллельно с реорганизацией бизнес-процессов в компании шли организационные преобразования. Так было создано новое структурное подразделение – дирекция по цепям поставок. Одной из главных причин возникновения дирекции по цепям поставок стала необходимость в координации различных задач управления современным предприятием, действующим в постоянно изменяющихся внешних условиях, усложнения материальных потоков. Основная цель дирекции по управлению цепями поставок стало совершенствование процессов управления предприятием и механизмов принятия управленческих решений. В сферу ответственности дирекции по цепям поставок вошло решение следующих задач.

- Разработка системы и поддержка процессов планирования деятельности.
- Организационное развитие системы управления (регламентация и стандартизация процессов).
- Разработка и поддержание в актуальном состоянии системы управленческого учета предприятия.
- Контроль реализации планов, достижения ключевых показателей эффективности, в том числе выявление и анализ отклонений.
- Разработка предложений по системе мотивации подразделений на основе показателей эффективности.
- Выработка рекомендаций по возможным решениям и их комплексное согласование.

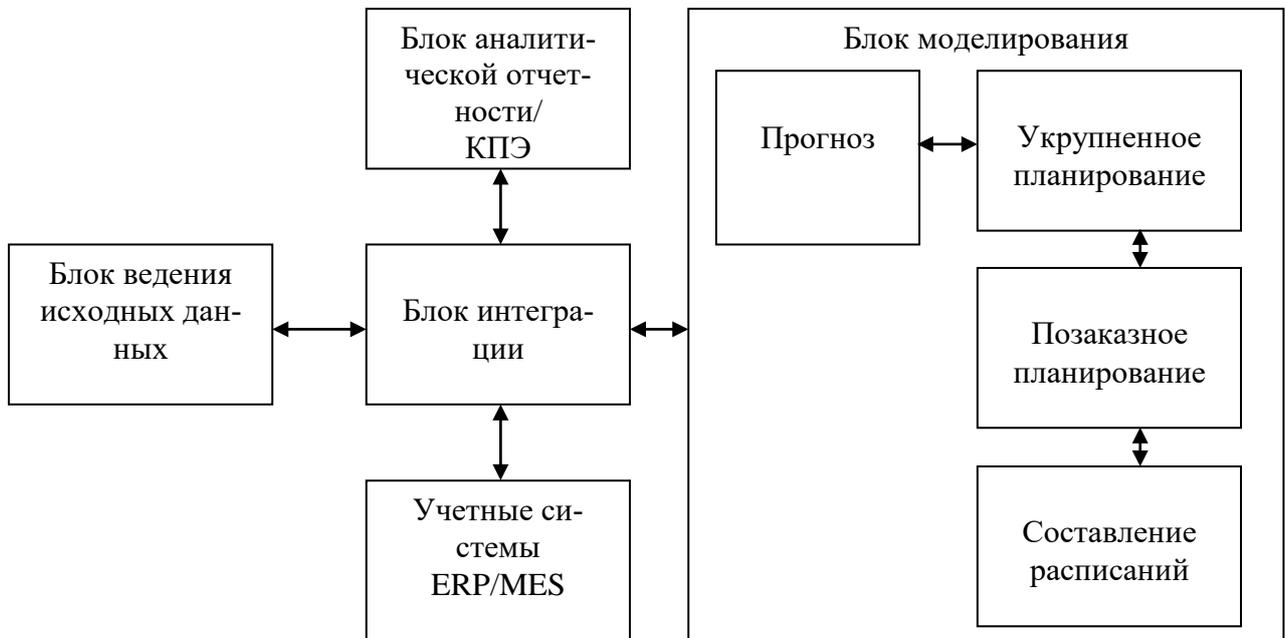
Создание дирекции по управлению цепями поставок, ввод в промышленную эксплуатацию процесса укрупненного планирования, развитие позаказного производственного планирования и, главное, изменение подходов к управлению стали реальными инструментами формирования конкурентного превосходства трубной компании.

#### *Внедрение поддерживающей информационной системы*

Внедрение в трубной компании современных программных модулей АСП ЦП (Advanced Planning and Scheduling - APS) позволило перейти к построению многоуровневых сквозных процессов управления цепями поставок, обеспечивающих уникальные конкурентные преимущества компании. Модули АСП ЦП используют новый подход к планированию, основанный на оптимальной балансировке спроса и предложения. Этот подход отличается от традиционного подхода планирования материалов и ресурсов (Material Requirement Planning/Manufacturing Resource Planning), тем, что АСП ЦП учитывает существующие возможности и ограничения по удовлетворению спроса одновременно в рамках интегрированной модели, а не последовательно, как это принято в традиционных решениях.

Модули АСП ЦП стали основой для создания замкнутого цикла планирования деятельности предприятия и контроля исполнения. В рамках программных модулей АСП создаются планы, которые согласуются и принимаются к исполнению. Осуществляется мониторинг внутренних и внешних факторов, которые влияют на исполнение плана. В случае необходимости, планы корректируются в соответствии с ситуацией.

В целом функциональную архитектуру информационной системы управления цепью поставок трубной компании можно представить в виде следующих взаимодействующих блоков (рисунок 64).



**Рис. 64 – Функциональная архитектура системы управления цепью поставок**

Основные функции блоков информационной системы управление цепью поставок приведены в таблице 20.

Таблица 20

**Функции блоков системы планирования**

<b>Блок системы</b>	<b>Основные функции</b>
Учетные системы ERP/MES	Учет факта, предоставление необходимой нормативно-справочной информации для планирования Публикация плана для исполнения
Блок ведения исходных данных	Ведение нормативно-справочной информации для планирования
	Формирование исходных данных
	Контроль исходных данных
	Управление доступом на ведение исходных данных
Блок интеграции	Управление обменом данными
	Обеспечение обмена данными
	Проверка исходных данных
Блок моделирования	Хранение версий исходных данных и версий результатов планирования
	Прогнозирование, расчет планов на тактическом и оперативном горизонте, составление суточных расписаний
Блок аналитической отчетности/КПЭ	Сценарный анализ
	Формирование аналитической отчетности/КПЭ

Влияние систем управления цепями поставок на формирование конкурентных преимуществ компании сопоставимо с эффектом от внедрения

современных технологических процессов производства. Информационные системы по управлению цепями поставок стали одними из ключевых активов предприятия и продолжают развиваться в точном соответствии с требованиями бизнеса компании.

В целом можно отметить, что успешное внедрение программных модулей АСП ЦП на протяжении трех лет вывело трубную компанию на передовые позиции современного управления металлургическими холдингами.

### *Результаты*

Проведенные в компании преобразования позволили достичь следующих результатов:

- Внедрение единой для компании методологии планирования и исполнения на основе модели SCOR;
- Совершенствование процессов управления предприятием и механизмов принятия управленческих решений;
- Формирование организационно-функциональной структуры управления предприятием, ориентированной на достижение стратегических и тактических целей, формализованных в виде сбалансированной системы показателей;
- Повышение квалификации руководителей всех уровней в области управления цепями поставок, контроллинга;
- Информатизация управления цепями поставок.

Планирование и исполнение в рамках интегрированной системы позволяет трубной компании формировать целостное понимание ключевых факторов, оказывающих влияние на конечный результат, своевременно выявлять возникновение неблагоприятных ситуаций и определять наилучшие альтернативы деятельности компании.

Следует отметить, что внедренная система управления не является фиксированной. По мере развития компании, изменения конъюнктуры рынка регулярно обновляются и сама система управления, включая бизнес процессы,

организационную структуру, показатели эффективности, информационные системы.

### *Выводы*

Интегрированный подход к управлению предприятием с использованием модели SCOR и сбалансированной системы показателей эффективно может использоваться для разработки системы управления современным предприятием, при этом информационные системы управления цепями поставок являются необходимым условием успешного полноценного внедрения этого подхода.

### **Тактическое планирование в трубной компании**

В рамках настоящего подраздела анализируется опыт создания системы тактического планирования в компании ОМК. В рамках описываемого проекта в ОМК были реализованы основные положения метода послойной оптимизации.

Интенсивный рост российских промышленных компаний в последние десятилетия, усложнение материальных, финансовых и информационных потоков в их цепях поставок, амбициозные цели на расширение бизнеса сделало невозможным дальнейшее использование существующих традиционных подходов по планированию и определило потребность компаний в разработке и внедрении новых методов и инструментов тактического планирования.

В рамках настоящего подраздела рассмотрены практические аспекты организации процесса тактического планирования цепи поставок в металлургической компании, занимающейся производством труб. Сформулированы рекомендации по повышению эффективности разработки и внедрения модели тактического планирования цепи поставок промышленного предприятия.

Материалы структурированы следующим образом:

- описание цепи поставок производителя труб;
- организация процессов планирования;

- моделирования цепи поставок;
- достигнутые результаты;
- выводы.

#### *Описание цепи поставок производителя труб*

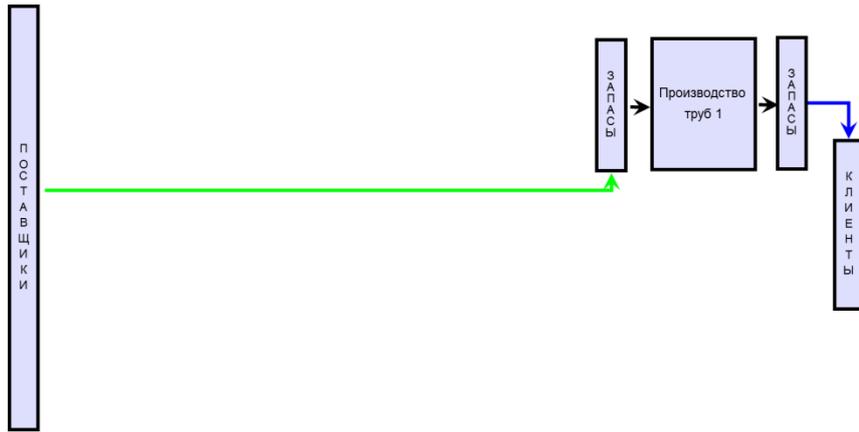
Трубная компания обслуживает ведущие российские и зарубежные компании энергетического сектора, а также отечественные предприятия коммунального хозяйства, строительные и торговые компании. Высокие мировые цены и растущий спрос на углеводороды являются гарантией процветания трубной промышленности в будущем.

В основу стратегии компании заложены следующие принципы:

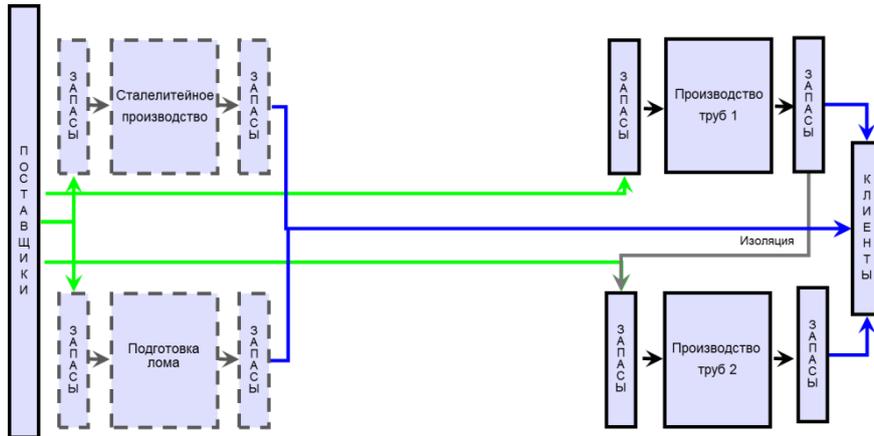
- вертикальная интеграция предприятий компании;
- концентрация производства на ограниченном числе производственных площадок, имеющих максимальный потенциал;
- сбалансированная диверсификация производства - расширение сортамента и выход на новые рынки;
- внедрение современных технологий.

Для удержания лидирующих позиций и удовлетворения будущего спроса, трубная компания активно инвестирует средства в развитие своего бизнеса. Так ее программа развития, в том числе, включает: интеграцию ранее приобретенных заводов в цепь поставок компании; строительство новых производственных мощностей. На рисунке 65 приведено схематическое изображение эволюции цепи поставок компании.

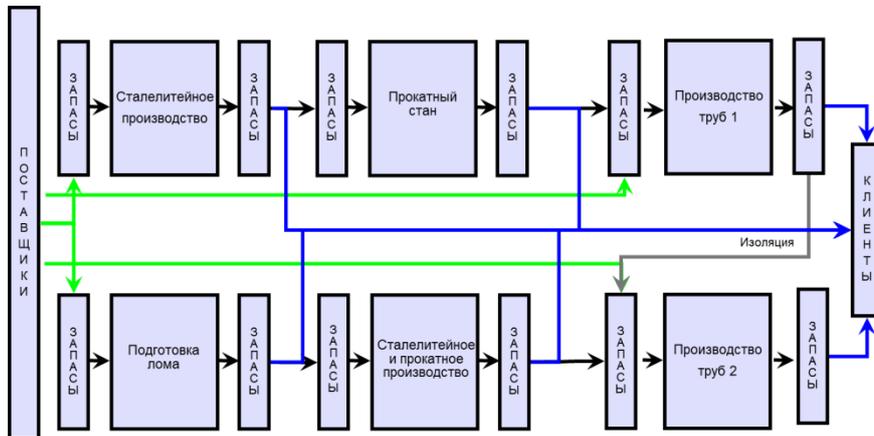
### Трубная компания вчера



### Трубная компания сегодня



### Трубная компания завтра



**Рис. 65 – Эволюция цепи поставок компании**

Анализ программы развития компании позволяет выделить ключевой риск, который может возникнуть в ходе реализации стратегий руководства, – несинхронизованный и несбалансированный поток материалов в цепи поставок.

Негативные последствия данного риска:

- повышенный уровень запасов;

- упущенные продажи;
- снижение дохода и маржинальной прибыли.

Основной стратегией нивелирования риска несинхронизированного потока материалов в цепи поставок компании является внедрение тактического планирования, которое включает в себя синхронизацию планов сбыта, производства, транспортировок и закупок.

### *Организация процессов планирования*

#### Уровни планирования

Для лучшего понимания целей и задач тактического планирования рассмотрим более подробно его место и связь с другими уровнями, приведенные на рисунке 66.



**Рис. 66 – Уровни планирования**

Стратегическое планирование – инструмент высшего руководства, позволяющий определять наиболее перспективные направления деятельности организации, обеспечивающие ее рост и процветание.

Оперативное планирование – рабочий инструмент для оперативного управления цепью поставок. Компании, которые работают с коротким временем выполнения заказа, модифицируют детальные оперативные планы почти непрерывно, однако ежедневное обновление подобных планов является более типичным.

Тактическое планирование необходимо для связи стратегических планов компании с более детальными оперативными планами. Оно служит

промежуточным звеном, и проводником политики руководства компании на более детальные уровни планирования с одной стороны и обратной связью о реальном состоянии дел в цепи поставок с другой стороны. Горизонт тактического плана, как правило, не превышает 18 месяцев. План обновляется ежемесячно или еженедельно. Основной временной диапазон - месяц, хотя он может быть детализирован до одной недели для нескольких первых периодов планирования.

Сверху вниз связь стратегического и тактического уровней планирования осуществляется через политики руководства, которые проявляются в тактической модели планирования в виде целевых функций. Связь тактического и оперативного уровней планирования осуществляется через процесс приемки фактических заказов клиентов. Тактические планы определяют целевой портфель заказов для продавцов и являются ориентиром в ценовой политике компании. Таким образом, клиентский заказ без предварительной проверки на предмет соответствия квотам тактического плана никогда не попадет в производство. Описанный выше механизм как раз иллюстрирует идею доведения политики руководства на самые детальные уровни планирования, а также исполнения.

Снизу вверх приходит уточняющая информация о возможности исполнения планов и факт исполнения. По результатам анализа отклонений принимаются решения о принятии дополнительных мер для выполнения планов или внесении изменений в них.

Таким образом, построение эффективного процесса тактического планирования является ключевым фактором успеха достижения поставленных перед компанией стратегических и оперативных целей.

#### *Организация тактического планирования цепи поставок*

Тактическое планирование в трубной компании было организовано традиционным образом по следующему алгоритму:

1. Создание изолированных тактических планов структурных подразделений на основании экспертных оценок, данных за предыдущие периоды (сбыт, транспортировка, производство, закупка).

2. Балансировка разработанных планов, сведение их воедино.

3. Расчет финансовых показателей сбалансированного плана.

4. В случае если финансовые показатели неудовлетворительны, возврат на второй шаг. В противном случае, публикация плана и мониторинг его исполнения.

Данная организация процесса имела следующие недостатки:

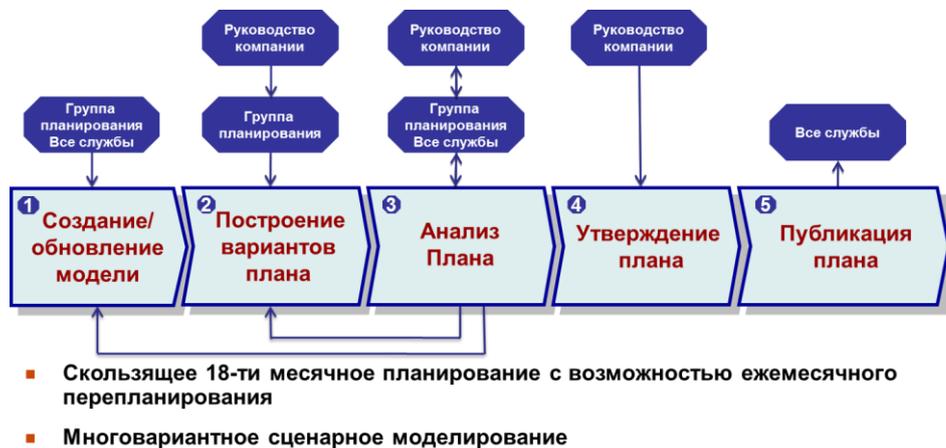
- изолированность процессов создания планов структурных подразделений;
- длительный цикл балансировки планов структурных подразделений, экономика в последнюю очередь;
- отсутствие возможности сквозной многокритериальной оптимизации по всей цепи поставок и сценарного моделирования.

Ключевыми причинами указанных проблем являлись:

- отсутствие эффективной методики формализации данных необходимых для моделирования;
- отсутствие эффективной методики и инструмента оптимального тактического планирования цепи поставок предприятия.

Для трубной компании сложность материальных, финансовых и информационных потоков приводило к тому, что зачастую при планировании происходило недопустимое упрощение проблемы и, как результат, страдали реалистичность и качество плана.

В целях решения этих проблем в трубной компании был разработан и внедрен усовершенствованный процесс тактического планирования цепи поставок, приведенный в подразделе. Рассмотрим его более подробно (рисунок 67).



**Рис. 67 – Схема тактического планирования цены поставок**

В рамках усовершенствованного процесса структурные подразделения готовят не отдельные изолированные планы, а исходную информацию, необходимую для моделирования. Данная информация включает в себя прогноз спроса, логистическую нормативно-справочную информацию и т. д. Балансировка и оптимизация тактического плана происходит в рамках моделирования (построение вариантов планов) автоматически в специализированном инструментарии на основании заданных целевых функций и ограничений.

С целью формализации процесса тактического планирования в компании были разработаны соответствующие регламенты и инструкции. В качестве примера можно привести таблицу ролей основных участников процесса планирования и их основные задачи (таблица 21).

Таблица 21

**Роли и задачи для процесса тактического планирования**

Наименование роли	Задачи, выполняемые в процессе
Руководитель группы планирования	Информирование сотрудника группы планирования, отвечающего за проверку данных о необходимости начала проверки целостности полученных исходных данных; информирование координатора процесса тактического планирования о возможности начала построения вариантов тактического плана; информирование координатора процесса тактического планирования о возможности проведения совещания по рассмотрению сценариев тактических планов; участие в совещании по рассмотрению сценариев тактических планов; организация обновления сценария утвержденного тактического плана.

Координатор процесса тактического планирования	<p>Рассылка сценариев тактического плана;  проведение совещания по рассмотрению сценариев тактических планов;  рассылка результатов совещания по рассмотрению сценариев тактических планов;  проведение совещания по согласованию тактического плана;  рассылка результатов совещания по согласованию тактического плана;  подготовка и проведение встречи по утверждению сценария плана;  публикация утвержденного сценария тактического плана;  передача утвержденного сценария тактического плана руководителю группы планирования.</p>
Сотрудники группы планирования	<p>Проверка обновления данных:  формирование перечня не обновленных данных;  проверка корректности данных;  формирование перечня некорректных данных.  Группировка данных:  проверка условий формирования группировок.  Информирование руководителя группы планирования о возможности начала построения сценариев тактического плана:  ввод в систему планирования критериев оптимизации;  расчет сценариев тактического плана;  информирование руководителя группы планирования о факте завершения расчёта сценариев.  Проверка сценариев укрупненного плана.</p>
Руководство компании	<p>Утверждение сценария тактического плана.  Утверждение решений, вынесенных на рассмотрение.  Определение ответственных за исполнение утвержденных решений.  Принятие решений по открытым вопросам.</p>
Руководители подразделений	<p>Подготовка к совещанию по рассмотрению сценариев тактических планов.  Участие в совещании по рассмотрению сценариев тактических планов.  Участие в совещании по согласованию тактического плана.</p>
Координаторы процесса тактического планирования со стороны подразделений	<p>Организация подготовки данных для процесса тактического планирования.  Контроль за своевременным вводом данных для планирования в информационную систему.  Оповещение группы планирования о факте завершения ввода данных в информационную систему.</p>
Сотрудники подразделений	<p>Сбор данных.  Обновление данных.  Проверка данных.  Расчет прогноза сбыта.  Расчет прогноза цен на сырье.  Расчет пропускной способности.  Расчёт переменных передельных затрат.  Расчет расходных коэффициентов.  Расчет выхода годного.  Расчет фондов рабочего времени.  Расчет зарезервированных машино-часов.  Передача данных в группу планирования.</p>

Опыт применения усовершенствованного процесса тактического планирования в трубной компании показывает, что он отличается синергией и обеспечивает получение оптимального и реалистичного плана деятельности в рамках заданных условий.

Ключевыми преимуществами усовершенствованного процесса являются:

- реалистичность и экономическая обоснованность планов;
- целостность взгляда на цепь поставок;
- оптимальность (возможности сквозной многокритериальной оптимизации);
- производительность (сокращение времени планирования, изменение баланса времени работы специалистов – увеличение доли времени на сценарный анализ планов).

Следует отметить, что обязательным условием применения описанного процесса планирования является наличие адекватной поставленным целям математической модели цепи поставок компании, а также использование соответствующих алгоритмов оптимизации.

#### *Моделирования цепи поставок*

##### Технологии

Для моделирования цепи поставок трубной компании были выбраны методы математического программирования, в частности методы линейного программирования. Эти методы уже на протяжении многих лет успешно применяются в моделировании экономических систем. Их ключевыми особенностями являются: детерминированность, динамичность, оптимальность.

На сегодняшний день существует большое количество научно-исследовательских инструментов, профессиональных средств разработки и бизнес-приложений для оптимизационного моделирования цепей поставок промышленных предприятий. В трубной компании выбор был сделан в пользу специализированного бизнес-приложения от ведущего производителя систем управления цепями поставок. Это объясняется простотой поддержания и

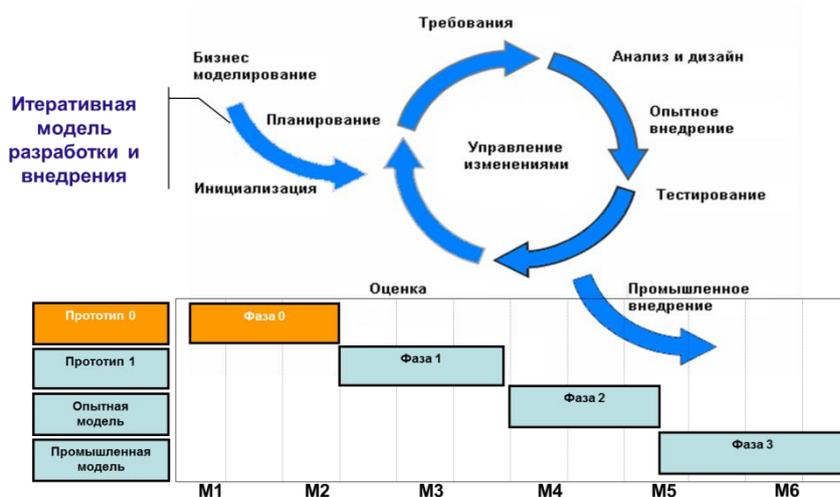
развития модели, высокой производительностью приложения за счет узкой специализации.

Для решения задачи оптимизации модели цепи поставок трубной компании был выбран поэтапный подход – метод декомпозиции. Данный научный метод позволяет, используя структуру задачи, заменить решение одной большой задачи решением серии меньших взаимосвязанных и более простых задач. В контексте линейного программирования суть метода заключается в решении последовательности целевых функций (критериев) оптимизации при условии, что результаты применения первого по порядку критерия не могут быть (по умолчанию) нарушены применением второго критерия.

Еще одной особенностью решения описанной задачи являлось использование послойной оптимизации. Метод декомпозиции совместно с послойной оптимизацией оказался интуитивно более понятный пользователям и соответствовал принятой в компании бизнес логике.

### Моделирование

При разработке модели цепи поставок трубной компании использовался итеративный подход, который заключался в постепенном усложнении модели по мере реализации фаз проекта (рисунок 68). Длительность фазы не превышала 3-х месяцев.



*Рис. 68 – Итеративная модель разработки и внедрения*

Такой тип жизненного цикла позволяет своевременно выявить проблемные области модели и внести необходимые изменения на ранних стадиях с минимальными издержками.

В рамках настоящего подраздела по соображениям конфиденциальности приводятся результаты нулевой фазы проекта внедрения тактического планирования в трубной компании.

Целями нулевой фазы являлось создание базовой модели цепочки поставок трубной компании и уточнение требований на следующие этапы. Задачами нулевой фазы являлись:

- Подготовка данных по параметрам цепи поставок:
  - графическое описание цепи поставок;
  - базовые группировки продукции;
  - описание параметров модели цепи поставок в табличном виде.
- Создание модели цепи поставок в специализированном инструментарии проверка на адекватность.
- Расчет сценариев и анализ.

Базовая модель цепи поставок включала участки выплавки и разливки, проката, а также участок производства сварных труб. Для участка выплавки и разливки был определен один поставщик сырья. Для участка производства сварных труб, кроме рулонов, поставляемых с участка проката, имелась возможность закупать материальные ресурсы у двух сторонних поставщиков подката. Свободный рынок в модели представлен 3-мя регионами: ближнее зарубежье (БЗ), Российская Федерация (РФ) и дальнее зарубежье (ДЗ) (рисунки 69 и 70).

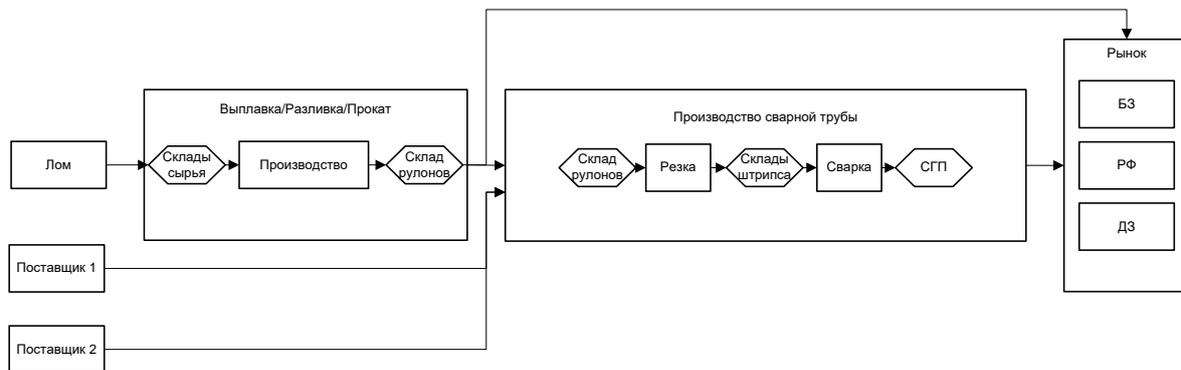


Рис. 69 – Общая схема тестовой цепи

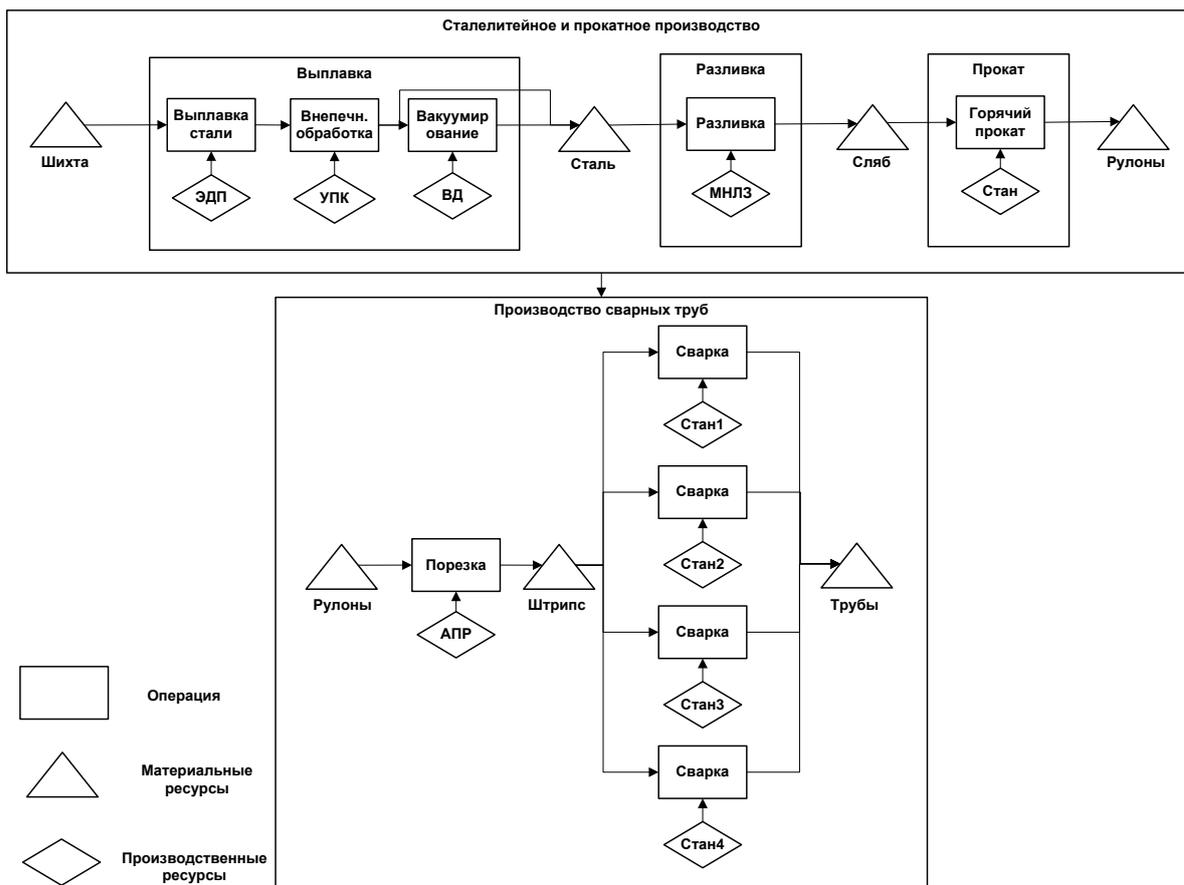


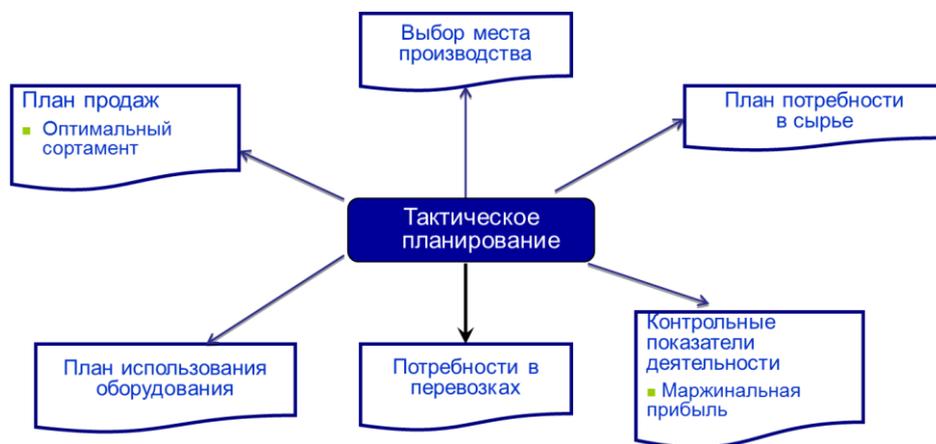
Рис. 70 – Внутрицеповые схемы в тестовой модели

На вход модели был подан прогнозируемый ежемесячный спрос продукции на сварные трубы и рулоны на 18 месяцев с ежемесячным шагом. В качестве базы для прогноза трубы использовались данные по фактическим отгрузкам за предыдущие периоды. В качестве прогноза по сталеплавному и прокатному производству использовалась прогнозная потребность участка производства сварных труб. Трубы могли поставляться в три региона: БЗ, РФ, ДЗ. Рулоны поставлялись только в РФ.

Базовая модель цепи поставок трубной компании была создана и протестирована в специализированном программном обеспечении. В ходе тестирования были опробованы три сценария: оптимизация по маржинальной прибыли без учета ограничений по производственным мощностям, максимизация удовлетворения спроса с учетом производственных мощностей и оптимизация маржинальной прибыли с учетом всех ограничений.

Для вычисления маржинальной прибыли в качестве доходной части бралась выручка с продаж, расходная часть включала в себя затраты на закупку сырья, логистические и производственные операции.

Основные виды результатов тактического планирования приведены на рисунке 71.



*Рис. 71 – Результаты тактического планирования*

Результаты проверки модели экспертами отдела планирования позволили сделать вывод, что модель адекватно отражает специфику цепи поставок трубной компании и можно перейти к следующей фазе уточнение модели и включение в нее новых участков производства.

Итеративный подход разработки модели, позволил поэтапно усовершенствовать модель, на каждом этапе внося необходимые уточнения. В конечной модели были включены все основные активы цепи поставок предприятия. Производилось моделирование не только материальных потоков, но и рассчитывались финансовые потоки.

### *Достигнутые результаты*

Реализация проекта внедрения решения по тактическому планированию в целом позволила получить следующие результаты.

В части сбытовой деятельности:

- определять оптимальный вариант удовлетворения спроса в условиях существующих рыночных и производственно-технологических ограничений;
- оптимизировать сортамент производимой и реализуемой продукции на основе его прибыльности с учетом производственных ограничений;
- предоставлять месячные квоты для приема фактических заказов клиентов.

В части производственной деятельности:

- повысить качество планирования производства;
- обеспечить прозрачность процесса планирования производства по всей технологической цепочке.

В части финансовой деятельности:

- проводить оценку себестоимости в части переменных затрат по группам и видам продукции, рынкам сбыта;
- предоставлять исходную информацию для процесса бюджетирования.

### *Выводы*

Тактическое планирование является необходимым связующим звеном между стратегическим и оперативным уровнем планирования. В современных условиях этот процесс требует формализации и внедрения инструментов информационной поддержки. Это особенно актуально в условиях расширения цепи поставок, усложнения материальных, финансовых и информационных потоков, что характерно для многих промышленных предприятий, в частности для металлургических компаний.

Предложенный в работе подход к организации тактического планирования цепи поставок, а также итеративный метод создания и внедрения соответствующей модели планирования опробованы на ряде крупных

российских и зарубежных промышленных предприятиях. Данный подход и метод рекомендованы к внедрению на предприятиях рассматриваемого класса.

#### **5.4. Планирование спроса в компании «Северсталь»**

В рамках настоящего подраздела описывается пилотный проект по реализации первой очереди улучшения процесса планирования спроса ЧерМК «Северсталь». Автор исполнял роль руководителя проекта и консультанта. В рамках описываемого проекта в Северстали были реализованы основные положения метода контроля качества прогнозов на основе анализа исключительных ситуаций.

В 2005 году ЧерМК «Северсталь» совместно с i2 СНГ успешно ввел в промышленную эксплуатацию систему мастер планирования или, как ее называли, систему оптимизации портфеля заказов. С течением времени появилось понимание, что для повышения результативности мастер планирования необходимо понимание поведения рынка на значительном временном горизонте, а также оперативное обновление прогнозов.

Предпосылками пилотного проекта по внедрению системы планирования спроса в 2007 году являлись следующие проблемные на тот момент зоны в компании.

Отсутствие взаимосвязи между процессами годового и месячного прогнозирования в компании. Данные годового прогнозирования слабо использовались для прогнозирования месяца и в рамках текущей деятельности из-за их быстрого устаревания.

Отсутствие скользящего процесса прогнозирования, возможностей сценарного анализа.

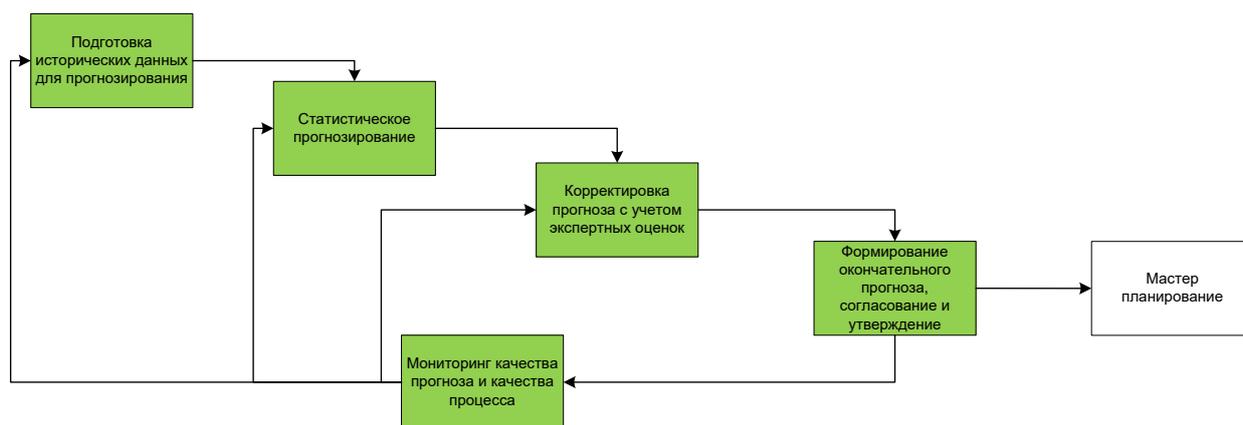
Неадекватное качество данных: недостаточно систематизированный, разрозненный сбор информации; по большинству продуктов и сегментов компании отсутствовала статистическая обработка исторических данных; отсутствовал единый глоссарий, единые согласованные группировки.

Единая упрощенная модель прогнозирования для всего сортамента.

Сложность пересчета планов (высокая трудоемкость сбора и ввода информации).

Низкое качество прогнозов: отсутствовал регулярный мониторинг качества прогноза (сходимости), качества процесса.

С целью повышения качества планирования спроса, сокращения времени составления прогноза и его обновления была разработана концепция обновленных процессов управления спросом на базе специализированного решения (рисунок 72) и реализован соответствующий пилотный проект.



*Рис. 72 – Процесс управления спросом, лучший мировой опыт*

В целом специализированное решение по планированию спроса предназначено для:

- сбора, единого представления и поддержания в актуальном состоянии данных о ценах, объемах и прогнозах продаж металлопроката компании и ее основных конкурентов, как внутри России, так и за ее пределами, а также других данных, используемых в прогнозировании;
- формирования прогнозов рыночного спроса (объемов продаж и цен на основании исторических данных и мнений экспертов);
- консолидации и детализации прогнозов спроса (объемов и цен) по направлениям продаж, по клиентам и группам клиентов, по продуктам и группам продуктов, а также по регионам реализации;
- анализа точности прогнозов в различных разрезах, сравнения фактически выполненных продаж с прогнозом;
- генерации отчетов;

- учета и классификации клиентов по объемам продаж и другим критериям;
- автоматизированного предоставления прогноза спроса в систему мастер планирования;
- импорта и детализации оптимизированного плана продаж из системы мастер планирования.

Концепция улучшений процессов управления спросом на базе специализированного решения была нацелена на решение следующих задач:

#### 1. Совершенствование бизнес-процессов управления спросом, включая:

- создание единой системы управления спросом в компании, охватывающей все подразделения компании, участвующие в этих бизнес-процессах (включая регламентацию процессов и процедур, использование единых для компании классификаторов), и являющейся частью системы управления Компании;
- обеспечение получения и использования максимально полной и достоверной информации о прогнозе спроса всеми заинтересованными подразделениями Компании;
- снижение затрат на первичные операции по обработке информации (сбор, агрегация, проверка и т.д.);
- изменение баланса времени на исполнение функций персонала объектов автоматизации: снижение доли функций первичной обработки информации и увеличение доли для анализа/планирования;
- повышение достоверности, оперативности и полноты информации для бизнес-процесса управления спросом;
- повышение качества оценки влияния макроэкономических и других показателей на спрос продукции.

#### 2. Интеграция с другими информационными системами Компании.

В рамках пилотного проекта были спроектированы и опробованы ключевые положения нового бизнес-процесса управления спросом.

Целями пилотного проекта стало следующее:

- уточнение потребности и оценка возможностей полномасштабного внедрения системы управления спросом;
- получение прогнозов спроса с помощью специализированного решения на выбранном горизонте, а также анализ сходимости плана утвержденных квот и занаряженных заказов;
- получение прогноза на следующий отчетный год в информационных целях.

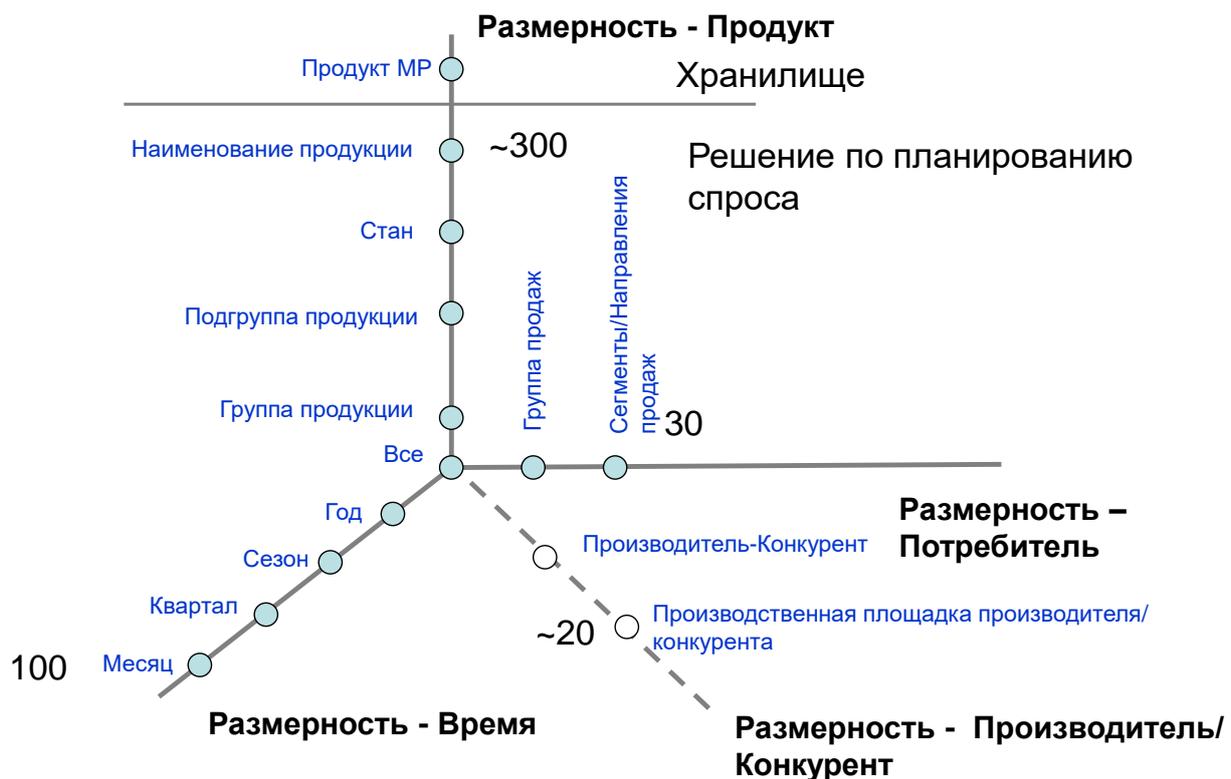
В ходе реализации проекта были решены следующие задачи:

- анализ существующих процессов управления спросом и выработка рекомендаций по их совершенствованию;
- определение перечня подразделений и сотрудников, участвующих в процессах управления спросом, определение и анализ их полномочий и ответственности в рамках данных процессов;
- разработка обобщенной структуры целевых процессов управления спросом, с учетом необходимости подготовки данных для передачи в процесс мастер планирования;
- создание в тестовом режиме планов продаж в системе мастер планирования на заданном горизонте основе полученных прогнозов продаж в специализированной системе планирования спроса;
- определение перечня необходимой информации для обеспечения процесса управления спросом и выработка требований к источникам информации для эффективного внедрения процесса управления спросом в дальнейшем в промышленную эксплуатацию;
- разработка предложения по следующим шагам для полномасштабного внедрения в компании процесса управления спросом с использованием специализированного решения.

В рамках разработки целевых процессов управления спросом были выполнены следующие мероприятия:

- формирование и обучение проектной группы подходам к совершенствованию процесса управления спросом;

- описание необходимой структуры процесса, учитывающей:
  - используемые в компании методики прогнозирования;
  - необходимость максимальной автоматизации процесса импорта исходных данных для проведения анализа;
- определение участников процесса (владельца бизнес процесса, исполнителей, экспертов);
- разработка необходимой структуры метаданных для управления спросом – продуктовую, географическую, временную структуры (рисунок 73);



*Рис. 73 – Структура метаданных для системы планирования*

- определение методики расчета ключевых показателей эффективности, по которым процесс управления спросом будет контролироваться;
- определение требований к входящим и исходящим данным в рамках процесса, анализ информационных систем, содержащих указанные данные и оценка их достаточности;

- разработка и утверждение функциональной спецификации для настройки специализированного решения для проведения демонстрации работы части пилотного процесса управления спросом.

В рамках настройки специализированного решения на выбранные части процесса управления спросом и проведения тестирования решения были выполнены следующие шаги:

- установка специализированного решения;
- проведение контроля качества данных;
- создание модели данных в специализированном решении;
- выбор и настройка выбранных шагов процесса;
- проведение тестирования выбранных шагов процесса в специализированном решении.

Тестовый запуск с использованием специализированного решения для ключевых экспертов на примере загруженных в систему актуальных данных включал:

- выбор и внесение данных, необходимых для тестирования, в модель, построенную с помощью специализированного решения;
- планирование на основе математической статистики в специализированном решении;
- анализ полученных результатов прогнозирования по итогам тестирования совместно с ключевыми пользователями.

#### *Вовлеченные подразделения и пользователи системы*

В качестве пользователей системы выступили специалисты Дирекции по сбыту. Поддержку функционирования системы осуществляли сотрудники Службы информационных технологий.

В рамках проекта были выделены следующие роли пользователей:

- владелец процесса «Ежемесячная подготовка прогнозов для плана продаж и анализ сходимости»;
- куратор процесса «Ежемесячная подготовка прогнозов для плана продаж и анализ сходимости»;

- владельцы подпроцессов прогнозирования в рамках процесса «Ежемесячная подготовка прогнозов для плана продаж и анализ сходимости»:
  - директор по сбыту, отвечающий за подпроцессы:
    - утверждение прогнозов объемов;
    - утверждение прогнозов ценовых трендов;
  - старший менеджер группы аналитики и ценообразования, отвечающий за подпроцессы:
    - сбор информации по объемам;
    - сбор информации по ценам;
    - обработка информации по объемам;
    - обработка информации по ценам;
    - расчет мультипликатора требуемого увеличения продаж;
    - внесение экспертных корректировок в статистический прогноз объемов;
    - внесение экспертных корректировок в статистический прогноз цен;
    - подготовка информации для расчета показателей сходимости;
    - ежемесячный анализ сходимости;
  - старший менеджер группы планирования продаж, отвечающий за подпроцессы:
    - расчет оперативного (на месяц) плана продаж;
    - подготовка информации для расчета годового плана продаж;
    - расчет годового (на 18 месяцев) плана продаж;
  - старшие менеджеры по группам и сегментам продаж, отвечающие за подпроцессы по своей области компетенции (соответствующая группа и/или сегмент продаж):
    - согласование с экспертами прогнозов объемов;
    - согласование с экспертами прогнозов ценовых трендов;
- ключевые пользователи системы:

- аналитики и аналитики ценообразования, ответственные за прогнозирование групп и сегментов продаж;
- старшие менеджеры продаж в группах и сегментах продаж и руководители сегментов продаж.

Для технической поддержки системы были определены следующие роли для IT-специалистов:

- ответственный за подготовку фактической информации;
- разработчики модели системы.

#### *Периодичность, горизонт и кванты прогнозирования*

Функциональность системы прогнозирования не содержала ограничений по периодам прогнозирования, однако при определении масштабов работ по пилотному проекту были установлены следующие временные ограничения:

- горизонт прогнозирования для процесса ежемесячной подготовки прогнозов для плана продаж и анализа сходимости был принят равным 18 месяцам и состоящим из 18 квантов прогнозирования, каждый из которых равен одному месяцу.

С точки зрения времени выполнения, спроектированные процессы в рамках пилотного проекта имели следующую структуру.

1. Подготовка исторической информации о продажах за предыдущий месяц (M-1) (5 рабочих дней с начала месяца прогнозирования (M0)).

2. Прогнозирование объемов и цен (2 рабочих дня после п.1).

3. Внесение экспертных корректировок (3 рабочих дня после п.2).

4. Выгрузка данных для передачи прогноза в систему мастер-планирования для расчета оперативного (на месяц) плана продаж (5 рабочих дней после п.3).

4а. Выгрузка данных для передачи прогноза в систему мастер-планирования для расчета оперативного (на месяц) и годового (на 12 месяцев) планов продаж (5 рабочих дней после п.3) (тестовый прогон в декабре).

5. Мониторинг качества полученного прогноза и плана продаж (5 рабочих дней с начала следующего месяца (M+1) за месяцем прогнозирования (M0)).

Результатами работ по пилотному проекту стало следующее:

- демонстрация работы части пилотного процесса управления спросом на полном массиве данных с помощью специализированного решения;
- создание трех тестовых прогнозов (для трех циклов планирования) совместно с ключевыми пользователями, а также годового прогноза продаж (в информационных целях);
- определение требований к дополнительной информации, необходимой для совершенствования процесса управления спросом;
- расчет значений достигнутых целевых данных для сходимости плана утвержденных квот и занаряженных заказов по ценам, группам продаж, агрегатам, агрегатам, ГОСТ, маркам и типоразмерам.

Реализация пилотного проекта позволила уточнить цели, задачи и ожидаемые результаты полномасштабного проекта по внедрению системы планирования спроса.

В качестве цели полномасштабного проекта было задано повышение прозрачности при принятии решений в рамках управления спросом, и достижение этой цели предполагала реализацию следующего.

1. Разработка сквозного процесса управления спросом, с реализацией в рамках процесса замкнутого цикла, предполагающего:

- наличие перечня методик прогнозирования емкостей целевых рынков, цен и продаж, в том числе прогнозирование «от общего к частному» и «от частного к общему»;
- определение перечня экспертов и учет их ролей, полномочий и ответственности в модели процесса прогнозирования спроса;
- разработку подходов к определению качества прогнозирования и качества процесса управления спросом для непрерывного совершенствования процесса управления спросом в дальнейшем.

2. Внедрение методологии планирования деятельности компании, ориентированной на потребителей.

3. Формирование центра компетенции в области прогнозирования емкости рынка, цен и продаж.

4. Реализация процесса управления спросом на базе специализированного решения и интеграция с системой мастер планирования.

В качестве ожидаемых результатов реализации полномасштабного проекта было принято следующее.

1. В части маркетинга и стратегии: определение тактики и стратегии присутствия компании в том или ином рыночном сегменте для получения максимальной прибыли

2. В части сбытовой деятельности: повышение качество прогнозирования спроса; подготовка прогноза продаж для процесса мастер планирования.

Реализованный в компании пилотный проект стал основой для построения полномасштабной системы управления спросом.

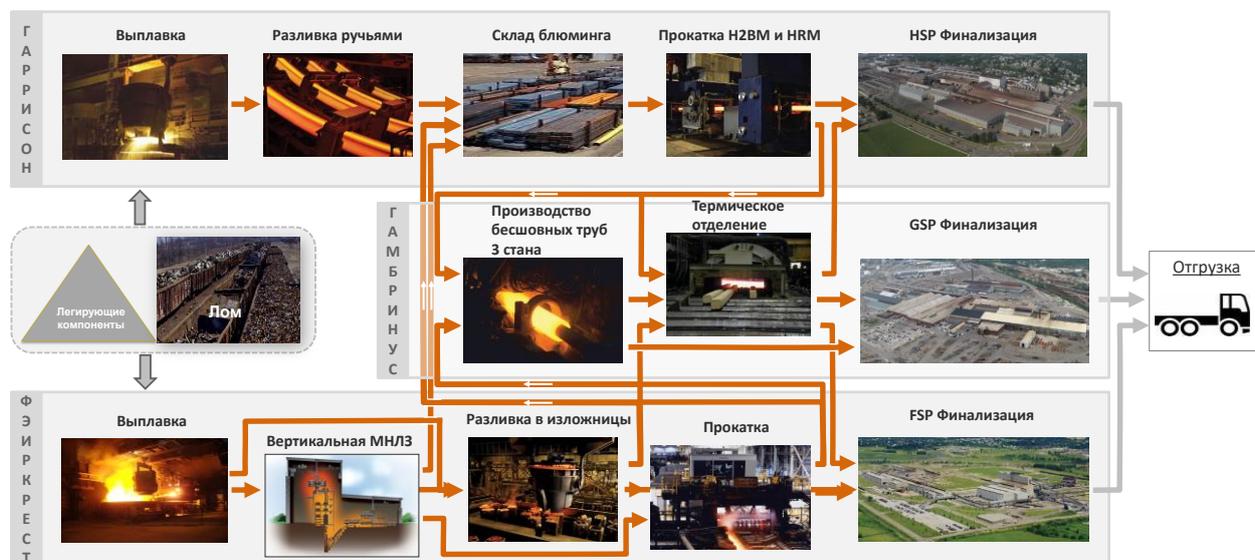
### **5.5. Оперативное планирование цепи поставок у производителя специальных сталей TimkenSteel**

В рамках настоящего подраздела рассмотрен передовой опыт крупнейшего внедрения АСП нового поколения у американского производителя специальных сталей TimkenSteel [48, 37]. Автор исполнял роль консультанта проекта по разработке концепции системы планирования цепи поставок TimkenSteel, учувствовал в проекте внедрения системы оперативного планирования. В рамках описываемых проектов в TimkenSteel был создан процесс оперативного планирования цепи поставок на основе доменов планирования.

#### *О компании-производителе специальных сталей TimkenSteel*

Американская металлургическая компания *TimkenSteel* производит под заказ сортовые заготовки, слитки, трубы и высокотехнологичную продукцию из специальных марок стали, которые отличаются высоким качеством и непревзойденными эксплуатационными характеристиками. Продукцию компании можно найти в подшипниковых узлах; в буровых установках; в

двигателях ветряных мельниц; в крановых установках и в оборудовании многих других отраслей.



*Рис. 74 – Схема цепи поставок Timken Steel*

Цепь поставок компании (рисунок 74) включает в себя три производственные площадки. На первых двух осуществляется выплавка и разливка стали как на МНЛЗ, так и путем разливки в изложницы сифонным способом. Третья отвечает за дальнейшие переделы, а именно производство бесшовных труб, термическое отделение. Перед отгрузкой продукция проходит финальные стадии подготовки продукции.

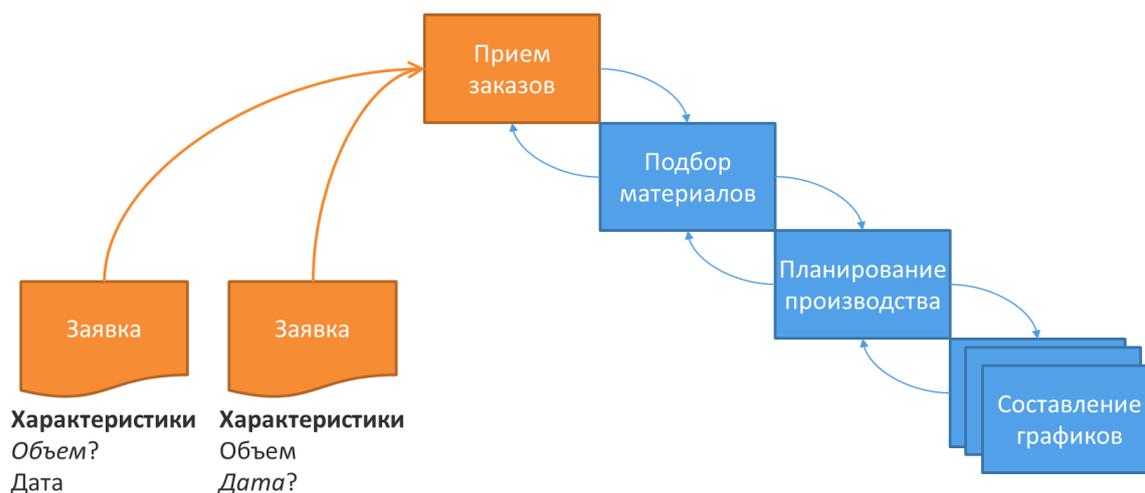
Клиенты компании относятся к аэрокосмической и автомобильной отрасли, энергетике, добыче полезных ископаемых, к железнодорожной отрасли. Компания поставляет свою продукцию предприятиям, которые работают в очень жесткой конкурентной среде. Скорость, надежность и эффективность цепей поставок в этом случае является значительным конкурентным преимуществом.

Помимо качества продукции, одними из ключевых ценностей, которые компания может предложить своим клиентам, являются возможность отгрузки продукции на заданную дату с высоким уровнем надежности, быстрая и гибкая реакция на запросы клиентов, а также хороший информационный сервис. Именно поэтому компания систематически работает над улучшением качества

своего клиентского сервиса наряду с улучшением качества продукции. Уровень качества клиентского сервиса зависит в первую очередь от того, насколько эффективно в компании выстроены процессы оперативного планирования цепи поставок.

### *Процессы оперативного планирования цепи поставок*

Схематическое изображение ключевых процессов оперативного планирования цепи поставок приведено на рисунке 75.



**Рис. 75 – Ключевые процессы оперативного планирования цепи поставок**

В ходе жизненного цикла заказ клиента проходит две стадии. На первой стадии это заявка, которая направляется службой закупки клиента в службу сбыта металлургической компании. В случае подтверждения возможности производства заявка становится согласованным заказом, поступая в систему планирования и резервируя производственные мощности. В ходе ежедневного перепланирования планировщики отслеживают статус исполнения заказов и вносят необходимые корректировки.

#### Прием заказов

До момента поступления заявки на вход системы планирования, она проходит подготовительную технологическую фазу. В рамках этой фазы специалисты металлургической компании подбирают подходящие технологические маршруты для типовой продукции и разрабатывают технологию изготовления для уникальной продукции. После того как

технология изготовления продукции определена, служба сбыта проводит оценку возможности производства продукции в заданные сроки. Достаточно распространенным способом определения даты исполнения заказа является использование статистики. Данный подход хорошо работает в случае стабильного спроса и низкой вариативности заказов. Однако в современных условиях разница между статистическими оценками длительности производства и фактически возможными является недопустимой. Качество клиентского сервиса значительно ухудшается в значительной степени и из-за некорректной первоначальной даты обещания исполнения заказа. Именно поэтому в металлургической компании было принято решение о внедрении нового процесса планирования, в рамках которого оценка возможности исполнения заказов осуществляется на основании актуальной модели цепи поставок. В рамках этой методологии заявка проходит несколько этапов оценки, включая подбор материалов, производственное планирование и составление расписаний работы оборудования. В результате проверки службы сбыта получает информацию о том, что заявка может быть выполнена в полном объеме к требуемой дате, выполнена в полном объеме раньше/позже требуемой даты, не может быть выполнена вообще. Таким образом, уже на первом этапе служба сбыта имеет возможность предоставить клиентам реалистичную дату исполнения и возможные альтернативные варианты.

Как только заявка согласована с клиентом, ее статус меняется и она становится полноценным заказом. С этого момента заказ становится доступным для системы планирования и находится там до момента его отгрузки клиенту. В системе планирования для каждого заказа производится предварительное резервирование производственных мощностей согласно его производственному маршруту. При этом учитываются все ограничения и правила, которые заложены в модель производства (производительности ресурсов, календарь доступности ресурсов, план кампаний и т. д.).

## Подбор материалов

Хотя большая часть продукции компании производится под заказ, и только относительно небольшая часть продукции производится в запас на основании прогнозного спроса от аффилированных компаний (это делается с целью сокращения времени доставки), тем не менее, не всегда возможно сгруппировать заказы до размера полных плавков. В результате этого, часть стали из плавков производится в запас и заготовки направляются на склад, где они ожидают подходящего открытого заказа. Для сопоставления характеристик свободного материала и требований открытых заказов существует отдельный процесс подбора материалов.

Процесс подбора материалов в компании разбит на несколько этапов. Для каждого этапа применяется специфичная логика по оценке потенциала сопоставления материалов и заказов. В большинстве случаев при подборе материалов рассматриваются полный перечень требуемых характеристик материала, включая допуски по весу.

Как правило, анализируются требования по: химическому составу, тестам, профилю и размеру. Каждое сопоставление должно пройти отдельный этап утверждения, до того момента, когда материал поступит в производство.

Решения, принятые в рамках процесса подбора материалов, немедленно передаются как в цеховые системы, так и в систему производственного планирования. В системе производственного планирования исполнение заказов начинается не с самого начала, с момента выплавки и разливки, а этапа, на котором находится в тот момент назначенный полуфабрикат.

## Оперативное планирование цепи поставок и составление расписаний работы оборудования

Заказы, для которых не нашлось подходящего материала в запасах, поступают на вход процесса календарного оперативного планирования цепи поставок и составления расписаний выплавки и разливки.

Эффективная группировка заказов со схожими характеристиками в плавки и выстраивание последовательности разливки стали на МНЛЗ и в изложницы является очень важным аспектом производственного планирования

в металлургической компании. Первоначальный план для этапа выплавки и разливки подготавливается в рамках общего процесса производственного планирования. Основная цель такого плана – грубая оценка доступных мощностей по выплавке и разливке и детальный анализ ограничений последующих этапов производства для формирования наиболее актуальных требований к сталеплавильному производству. Требования к сталеплавильному производству из общего производственного плана детально анализируются в специализированном решении по составлению расписаний выплавки и разливки.

Горизонт плана сталеплавильного производства разбит на несколько участков. На долгосрочном участке планирования заказы группируются в плавки на основании заданных правил. Эти плавки автоматически (без вмешательства планировщиков) пересчитываются каждый день, так как ситуация на долгосрочном горизонте достаточно изменчивая. На среднесрочном участке запланированные плавки сохраняются при повторных пересчетах. К плавкам могут добавляться новые заказы взамен свободного материала. Планировщики в основном работают именно с этим участком горизонта планирования. Расписание выплавки и разливки на краткосрочном участке планирования в основном закрыт для изменений. На основании расписания этого участка формируются производственные задания.

Ежедневно в процессе планирования в металлургической компании в обязательном порядке анализируются следующие ограничения:

- плавки, технологические маршруты и последовательности разливки в сталеплавильном производстве;
- доступные производственные мощности с учетом календаря доступности ресурсов;
- ограничения, связанные с производственными кампаниями.

Хотя расписание выплавки и разливки готовится на основании общего плана производства, иногда возникают ситуации, когда расписание в какой-то части может противоречить плану производства. В этом случае расписание

сталеплавильного производства должен быть синхронизирован с планом производства в рамках сессии планирования. При этом планировщики должны руководствоваться глобальными целями по дисциплине отгрузки клиентам, загрузке ресурсов и уровню запасов. В рамках детального планирования дальнейших переделов качество плана и расписания производства продолжает повышаться (планирование производственных партий в термическом отделении, планирование альтернативных маршрутов и т. д.).

#### *Технические и временные аспекты организации процесса календарного планирования*

Производственные заказы ежедневно анализируются в течение всего процесса планирования, а не в какие-то определенные моменты времени. Благодаря этому любые изменения производственной ситуации находят соответствующее отражение в плане заказов.

Изменения производственной ситуации (портфель заказов, мощности производства и прочее) требует обновления плана. В рамках календарного планирования это означает создание новой версии планов и расписаний и синхронизация их между собой.

Подбор материалов также является частью ежедневного процесса обновления планов, так как он также может быть источником изменений. Назначение свободного материала из запасов заказу, который был изначально запланирован с этапа выплавки и разлива, может сократить время его производства и высвободить мощности ресурсов для других заказов.

Смежные с процессом календарного планирования процессы (приемка заказов, планирование заказов, подбор материалов, составление расписаний выплавки и разлива) работают параллельно. В большинстве случаев пользователи могут работать с системой планирования в любое удобное для них время.

Процесс календарного планирования можно представить в виде последовательности шагов.

#### Подготовка к процессу планирования в автоматическом режиме

##### *Полное обновление входных данных*

Большая часть данных, необходимых для планирования, содержится в учетных системах компании. Каждое утро эти данные автоматически подготавливаются и передаются в систему планирования. Утреннее полное обновление данных гарантирует то, что как минимум один раз в день наиболее актуальные данные поступают в систему планирования.

#### *Внутренний замкнутый цикл*

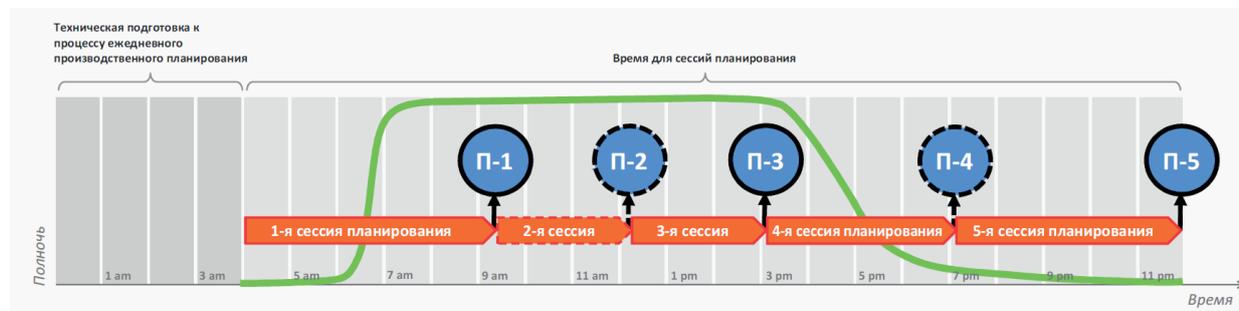
Часть данных поддерживается и хранится только внутри системы планирования. Для этого используется внутренний замкнутый цикл передачи данных. При построении плана используются как данные из учетных систем, так и собственные данные системы планирования. При этом обеспечивается согласованность данных.

#### *Исходный план*

На первом шаге создается модель компании и рассчитывается исходный план для каждого клиентского заказа. Значительная часть календарного производственного плана восстанавливается из предыдущего дня. Это относится в первую очередь к календарям доступности ресурсов плана производственных кампаний и плана заказов на краткосрочном и среднесрочном горизонтах. Основная цель при этом – обеспечить стабильность плана в тех областях, где портфель заказов стабилен, и имеется возможность сохранить работу предыдущего дня. На следующем шаге для каждого планировщика создается отдельная версия исходного плана – домен планирования.

#### Сессии планирования

Работа с планом разбита на отдельные сессии планирования. В рамках этих сессий осуществляется автоматическое планирование и внесение ручных изменений в план. Рисунок 76 иллюстрирует график сессий планирования в рамках ежедневного процесса планирования.



*Рис. 76 – Планирование в течение дня*

Как видно на рисунке 76, между полночью и 4 часами утра готовятся исходные данные для системы планирования. Эти данные включают в себя новые заказы, актуальные данные производства и информацию о запасах продукции и незавершенного производства.

Первая сессия планирования начинается рано утром, и ее основная цель – обновление плана на краткосрочном и среднесрочном горизонте планирования. Первый план (П1) обычно подготавливается между 9-ю и 10-ю часами.

В случае возникновения непредвиденных ситуаций, может быть создана дополнительная версия плана (П2).

Если ничего непредвиденного не случилось, после первого плана (утром) создается новая версия плана между 3-мя и 4-мя часами дня (П3).

После полудня, когда главный планировщик обычно занят, для учета изменений производственной ситуации возможно создать дополнительные версии плана (П4). В любом случае до начала подготовки данных для нового дня планирования формируется окончательная версия производственного плана для текущего дня (П5). Эта версия учитывает все обновления данных, пришедших от смежных учетных систем, а также ручные корректировки планировщиков. Изогнутая линия показывает типовую интенсивность работы планировщиков в течение дня.

В рамках внедрения нового процесса планирования были осуществлены следующие ключевые изменения:

- расширение горизонта планирования, переход к скользящему горизонту планированию, увеличение частоты обновления плана (несколько раз в день);

- модернизация мотивационной схемы, внедрение новой системы ключевых показателей эффективности;
- тесная интеграция процесса приемки заказов с процессами календарного планирования производства;
- учет специфичных ограничений сталеплавильного производства;
- организация работы группы планировщиков в интегрированной среде планирования.

### *Информационная система планирования*

Специалистами американской компании совместно с проектной командой LOGIS были сформулированы несколько ключевых областей улучшений процесса планирования. Впоследствии это стало ключевыми требованиями к новой системе оперативного планирования цепи поставок TimkenSteel. Эти требования включали следующее:

#### 1. Учет всех ключевых ограничений при планировании.

В случае если при планировании не учитывается какое-либо значимое ограничение или правило, с большой вероятностью это будет оказывать негативное влияние на качество плана. Для компании сложность всегда вызывали следующие вопросы: загрузка ограниченных производственных мощностей, управление компаниями, группировка заказов в плавки (с учетом специфичных требований каждого заказа к химическому составу).

Как было сказано выше, американская компания является производителем специальных сталей. Их сортамент состоит из более 500 марок сталей, каждая со специфическими требованиями к химическому составу. Очевидно, что химический состав стали играет ключевую роль при составлении планов выплавки и разливки. В случае если план выплавки и разливки не был учтен при планировании всего производства, этот производственный план будет нереалистичным, и потребуются дополнительный ручной труд планировщиков для формирования его окончательной версии.

#### 2. Создание среды для планирования в команде.

На крупных металлургических производствах с несколькими переделами невозможно обойтись одним планировщиком. В этом случае требуется командная работа группы планировщиков. Для командной работы группы планировщиков необходимо иметь соответствующую среду. В соответствии с проведенными исследованиями существующие на сегодняшний день системы планирования почти не имеют инструментов для решения этой очень важной задачи планирования.

### 3. Обеспечение оперативности расчетов.

Проблема календарного планирования сложна по своей природе, при этом время на ее решение в течение дня ограничено. Именно поэтому одним из ключевых требований к новой системе планирования было обеспечение оперативности расчетов – обеспечение возможности пересчитывать планы несколько раз в день за приемлемое для планировщиков время. Высокая скорость вычислений обеспечивает планировщика временем для изучения альтернативных решений существующих проблем планирования и выбора плана, который наилучшим образом соответствует текущим потребностям.

Для реализации описанных выше требований специалистами LOGIS было разработано собственное программное решение. В этом решении в рамках проекта внедрения была настроена модель цепи поставок металлургической компании. На сегодняшний день новая система в полной мере покрывает следующие процессы планирования металлургической компании: прием заказов, подбор материалов, календарное планирование, составление расписаний работы оборудования.

Решение разработано в программной среде C++ и использует архитектуру, которая подразумевает выполнение всех основных расчетов непосредственно в оперативной памяти компьютера без обращения к жесткому диску, что обеспечивает высокую производительность. Для целей моделирования разработанная система использует настраиваемые алгоритмы Программирования Удовлетворения Ограничений (Constraint Satisfaction Programming – CSP), которые включают в себя, в том числе, линейное и целочисленное программирование, эвристику.

Пример рабочей области планировщика производства приведен на рисунке 77.

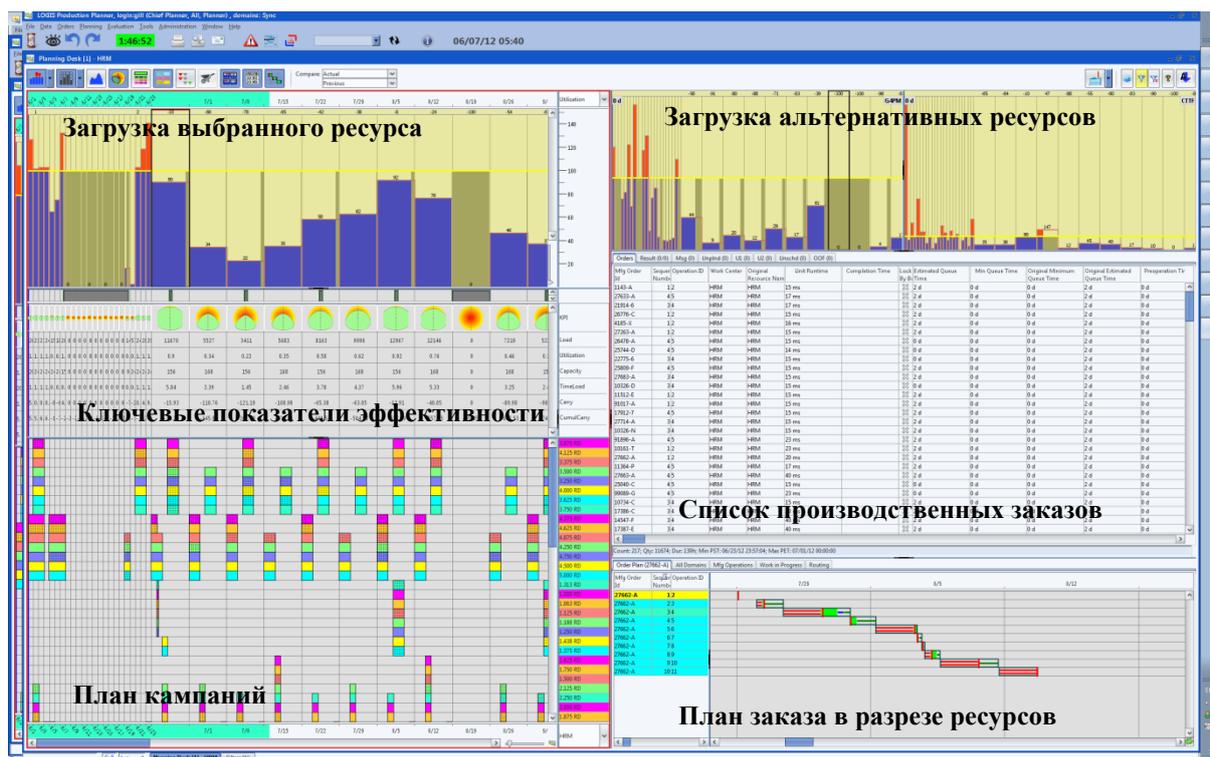


Рис. 77 – Рабочая область планировщика производства

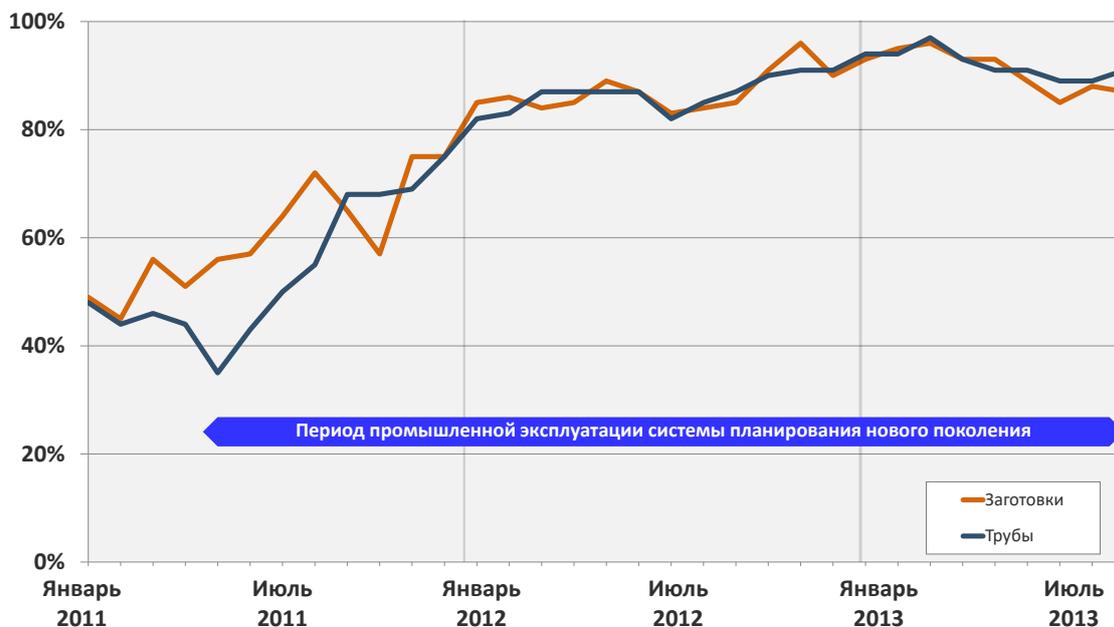
Основными результатами применения разработанной системы являются:

- значительное ускорение расчетов;
- поддержка комплексной среды планирования с возможностью управления работой группы планирования;
- повышение точности планов за счет учета сталеплавильных правил и ограничений.

#### Описание достигнутых результатов

Результатами внедрение новой системы планирования в металлургической компании являются:

- повышение дисциплины отгрузок заказов с 50% до 90% и более при окне обещания в один день (рисунок 78);
- поддержание оптимального уровня запасов полуфабрикатов и готовой продукции;
- улучшение показателя загрузки оборудования;
- повышение информированности заказчиков.



**Рис. 78 – Дисциплина отгрузки заказов в компании TimkenSteel (источник TimkenSteel)**

### *Выводы*

Внедрение процессов планирования на основе системы планирования нового поколения требует внесения изменений в организационной структуре подразделений компании, задействованных в процессе планирования и исполнения, изменение мотивационной схемы, внедрение новых показателей эффективности.

Необходимым условием успешного внедрения методологии является применение соответствующего инструментария, одними из ключевых характеристик которого являются поддержка и управление эффективной работой группы планировщиков, учет технологической специфики промышленного предприятия, оперативность расчетов.

### **Управление командой планирования в TimkenSteel**

В рамках настоящего подраздела проанализирован опыт по созданию многопользовательской системы планирования с распределенной рабочей областью у американского производителя специальных сталей TimkenSteel.

На заре зарождения технологий управления цепями поставок, в начале девяностых, была распространена концепция, согласно которой в скором времени ручной труд планировщика в системе планирования вовсе будет

неостребованным. Все будет автоматизировано и планировщики просто не смогут соревноваться ни в скорости, ни по качеству плана с интеллектуальными алгоритмами оптимизации. По сути, речь шла о создании адаптивной системы автоматического управления цепью поставок. Адаптивная система (самоприспосабливающаяся система) – система, автоматически изменяющая данные алгоритма своего функционирования и (иногда) свою структуру с целью сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий.

Хотя на первых этапах эта идея казалась очень привлекательной, на сегодняшний день можно сказать, что эта точка зрения уже не является доминирующей среди теоретиков и разработчиков решений по управлению цепями поставок. Накопленный опыт позволяет сделать вывод, что пройдет очень много лет, прежде чем будет создана какая-либо действительно автономная от человека система планирования деятельности предприятия, способная эффективно реагировать на любые непредвиденные ситуации, возникающие в процессе ежедневной работы. Показателен в этом контексте пример внедрения системы автоматического прогнозирования спроса и планирования запасов в компании Nike в партнерстве с компанией i2 Technologies в начале двухтысячных. Попытка создания адаптивной автоматической системы планирования закончилась громким провалом.

Сложность создания подобной системы заключается в том, что часть необходимой информации всегда будет:

- недоступна системе планирования (такая ситуация возможна в случае, если эта информация не является частью модели – в этом случае система планирования просто не учитывает ее);
- доступна для системы планирования, однако по ряду причин система планирования не в состоянии адекватно интерпретировать и учесть эту информацию.

В таких случаях неизбежно возникают недопустимые неточности в модели планирования, и требуется привлечение планировщиков для устранения этих неточностей.

Первая цель планировщика в таком случае является корректная интерпретация и учет информации, которая не учитывается в системе планирования. Используя свой опыт и знания, планировщик может добиться улучшения качества плана. Т.е. создать более качественный план по сравнению с планом, который был создан автоматически системой планирования.

Следующая по приоритетности цель планировщика заключается в поддержании базы знаний по планированию, включающей в себя не только знания о возможностях системы планирования, но и знания о производственных ограничениях и бизнес-процессах. Эти знания являются очень ценным активом компании. Без планировщиков исчезнет база знаний. С исчезновением базы знаний система планирования превратится просто в черный ящик. Не будет никого, кто сможет развивать и улучшать систему планирования. В случае необходимости фундаментальной перестройки системы не будет никого, кто сможет определить требования к новой системе.

Роль программного обеспечения по планированию в рассматриваемом случае – решение задачи автоматизации рутинных операций процесса планирования с целью повышения качества последнего. Подобные системы создаются для помощи планировщикам в создании качественных планов и для поддержки накопления базы знаний по планированию, что является одним из источников конкурентоспособности компании. По мере развития модели планирования объем рутинных операций для планировщика сокращается, и он может сконцентрироваться на интеллектуальной работе по созданию ценности для компании.

Следует отметить, что сложность процесса планирования значительно варьируется в зависимости от специфики конкретного предприятия и уровня детализации процесса планирования. Цепь поставок предприятия может быть относительно простая или сложная с расширяющимся логистическим потоком, когда этапы взаимосвязаны, присутствует высокая неопределенность и

вероятность частого изменения запланированного хода событий. В сложном производстве задача составления качественного плана становится комплексной. Для подобных сред планирования авторами предлагается специальный термин – комплексные среды планирования.

В комплексной среде планирования невозможно, чтобы только один планировщик отвечал за создание качественного оперативного плана, учитывал при планировании детальные ограничения и правила каждого участка цепи поставок, принимая во внимание их индивидуальную специфику. В такой среде обычным делом является работа большого числа планировщиков. В противном случае трудно рассчитывать на получение качественного плана.

Логично ожидать, что и система планирования в такой среде будет поддерживать работу в команде. В этом случае система планирования должна будет обеспечивать максимально эффективное разрешение конфликтных ситуаций между планировщиками для достижения синергетического эффекта от работы всей группы. Также система должна поддерживать возможность назначения различных ролей для планировщиков в ходе планирования. В завершении, система должна не только поддерживать эффективное управление работой группы планирования, но также обеспечивать возможность оценки вклада каждого планировщика в результирующий план.

Выбор оптимальной архитектуры системы для поддержки процесса оперативного планирования в комплексных средах является залогом качественного планирования. Вопросы выбора архитектуры системы оперативного планирования особенно актуальны для сложных с технологической точки зрения производств (таких как, например, производство стали, где в ходе планирования используется труд группы планировщиков). Данные вопросы слабо освещены в современной научной и бизнес-литературе и требуют дальнейшего изучения и формализации.

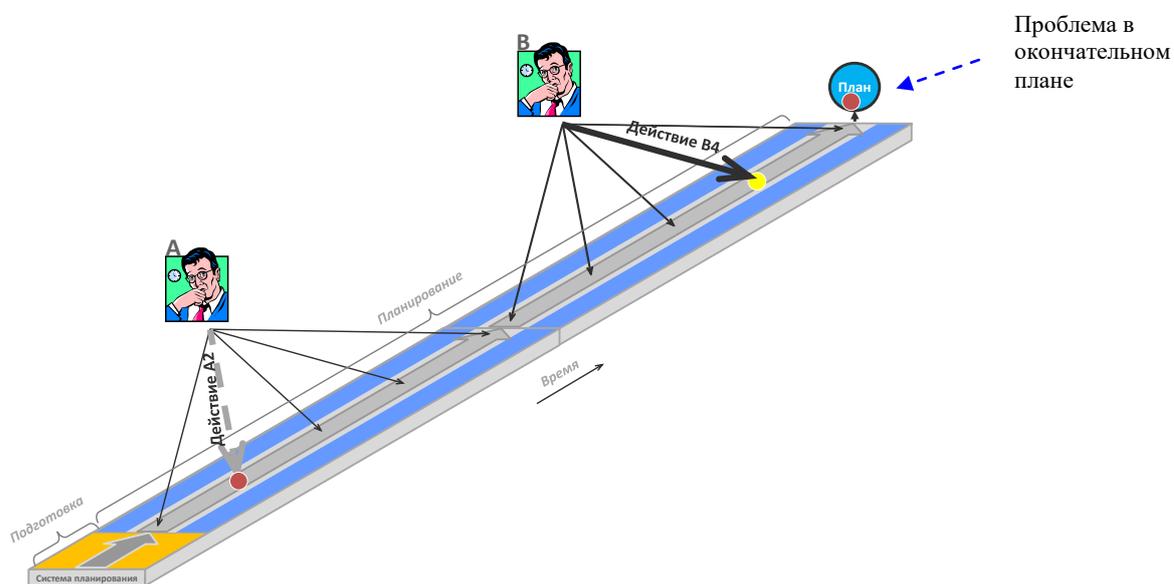
В рамках настоящего подраздела будет проведен сравнительный анализ различных архитектур систем оперативного планирования с точки зрения их поддержки планирования в команде, приведен опыт внедрения системы оперативного планирования в металлургической компании.

Материалы структурированы следующим образом:

- однопользовательская система планирования;
- многопользовательская система планирования с общей рабочей областью;
- многопользовательские системы планирования с распределенной рабочей областью;
- архитектуры систем планирования – сравнительный анализ;
- пример внедрения многопользовательской системы планирования с распределенной рабочей областью у производителя специальных сталей – TimkenSteel, США;
- ВЫВОДЫ.

### *Однопользовательская система планирования*

Однопользовательские системы планирования не способны одновременно поддерживать работу более одного планировщика в каждый конкретный момент времени (рисунок 79).



**Рис. 79 – Процесс последовательного планирования в однопользовательской системе планирования**

Примечание. На рисунке 79 приведена история работы двух планировщиков, которые создают Окончательный План (ОП), используя систему планирования. Направление времени обозначено стрелкой «Время».

Перед началом работы планировщиков необходимо выполнить определенные подготовительные/технические операции (для примера, загрузка данных из соответствующих систем). Планировщик А начинает планировать в системе после выполнения этих работ. В процессе работы с системой планировщик принимает решение и вносит изменения (Действия Планирования) в план. На рисунке 79 Действия Планирования представлены стрелками, направленными от иконки планировщика. При этом вершина стрелок указывает на временной период, куда вносятся изменения. После того, как Планировщик А закончил свою работу, с планом начинает работать Планировщик В. Выделенная жирным стрелка на рисунке 79 показывает Действие Планирования В4, выполненное планировщиком В. В результате этого были удалены действия планирования А2 Планировщика А. Подвергнутое изменению Действие Планирования представлено жирной прерывистой серой стрелкой и удаленный результат планирования представлен в конце стрелки кругом. Этот круг в ОП демонстрирует тот факт, что проблема из-за скрытого конфликта, которую Планировщик А считал разрешенной, в действительности не решена в ОП. Ценность Окончательного Плана, таким образом, уменьшена.

Использование однопользовательской системы планирования является затратным по времени. В такой системе пользователи могут работать только последовательно. Это значительно увеличивает время, необходимое для создания финального плана.

Также будет достаточно сложно эффективно использовать время вынужденного простоя планировщиков. Кроме того, время, которое необходимо разным планировщикам для внесения изменений в план, может меняться динамически, что также создает определенные трудности.

Если планировщик, ожидая окончания планирования своего предшественника, занят на других работах, то в случае преждевременного завершения работ могут организоваться и вовсе простои в планировании. И наоборот, если предшественник закончит работать с планом позже намеченного срока, это повлечет снижение эффективности загрузки ожидающего своей очереди планировщика.

В дополнение в процессе планирования одним из наиболее острых вопросов является разрешение конфликтующих между собой решений, принятых различными планировщиками.

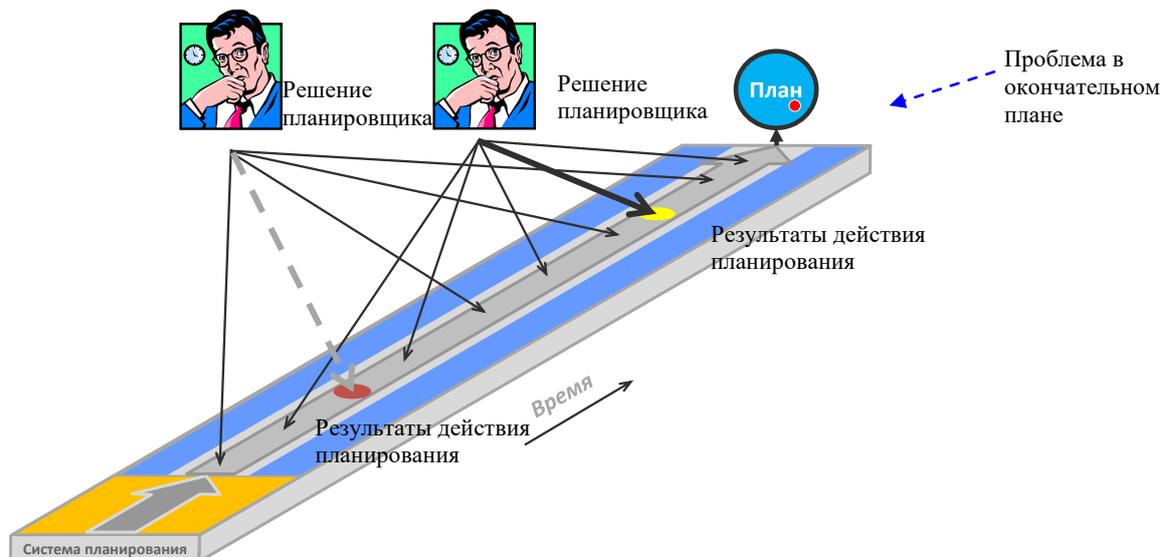
В процессе планирования даже относительно простых производств сложно избежать, а иногда и невозможно, конфликтов, связанных с удалением корректировок плана одного планировщика действиями других специалистов. В такой ситуации может легко случиться, что очень важные решения, принятые одним из планировщиков, были отменены действиями других. При этом может значительно пострадать реалистичность и качество плана. Другим важным аспектом применения однопользовательской системы является длительность процесса планирования.

Длительность процесса планирования стремительно возрастает с увеличением количества планировщиков. Но даже с небольшим числом планировщиков, возникают проблемы с поддержкой устойчивого цикла планирования и обеспечения возможностей быстрой реакции на изменяющиеся условия. Для любой группы планировщиков командная работа является ключом к высокой эффективности. У однопользовательских систем планирования подобной функциональности нет, и не может быть. В завершении необходимо отметить еще один важный аспект – управление командой планирования с целью обеспечения максимальной гибкости ответов на потребности компании и оценку производительности команды (координация и поддержка управления). В этой области однопользовательские системы также не предлагают ничего существенного.

*Многопользовательская система планирования с общей рабочей областью*

Наиболее часто встречающаяся архитектура – это многопользовательская система с общей рабочей областью для всех планировщиков.

Процесс планирования с использованием данных систем схож с ранее рассмотренным. Отличие заключается в том, что в ходе планирования одновременно работать с планом могут больше, чем один планировщик (рисунок 80).

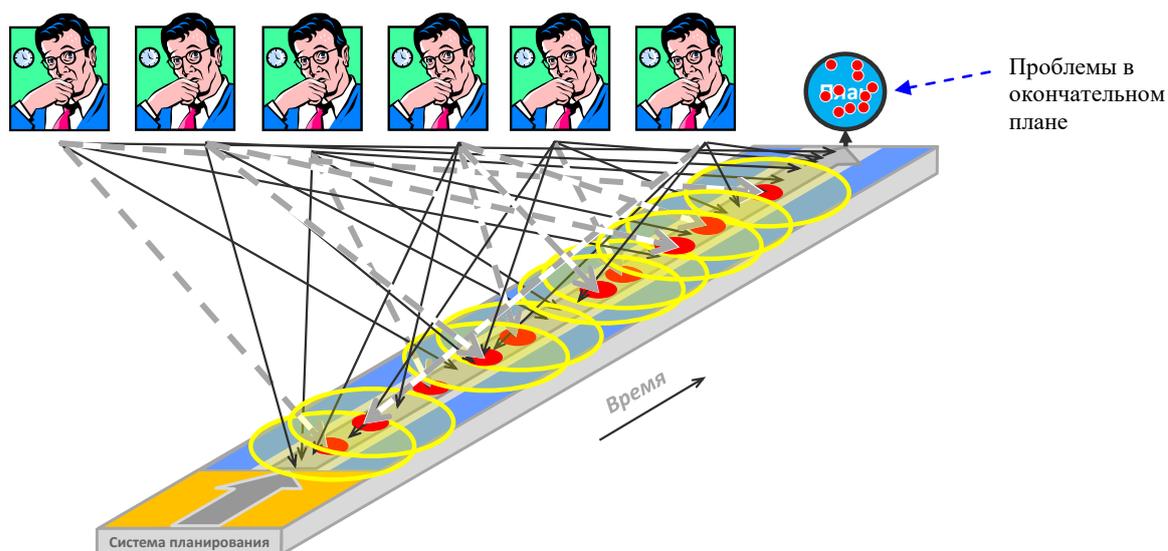


**Рис. 80 – Процесс планирования в многопользовательской системе планирования с общей рабочей областью**

В данном случае по сравнению с однопользовательскими системами рабочее время планировщиками используется более эффективно.

Однако остается нерешенной проблема конфликтов, которая оказывает негативное влияние на качество плана. Даже при небольшом количестве планировщиков количество конфликтных ситуаций может быть значительным, что отрицательно влияет на качество плана.

По мере увеличения числа планировщиков число конфликтных ситуаций также возрастает (рисунок 81). Даже в случае, если время процесса планирования не ограничено, конфликты, возникающие между планировщиками, все еще являются основной проблемой. Качество плана может быть улучшено, если планировщики в процессе планирования обмениваются между собой информацией, по крайней мере, о ключевых своих действиях. Но даже в этом случае время процесса планирования будет значительным. Очевидно, что планировщики не в состоянии обмениваться информацией о каждом отдельном своем действии с коллегами. В рассматриваемом случае даже высокие временные затраты на процесс планирования не приведут к высокому качеству плана.



**Рис. 81 – Корреляция между числом планировщиков и количеством конфликтов**

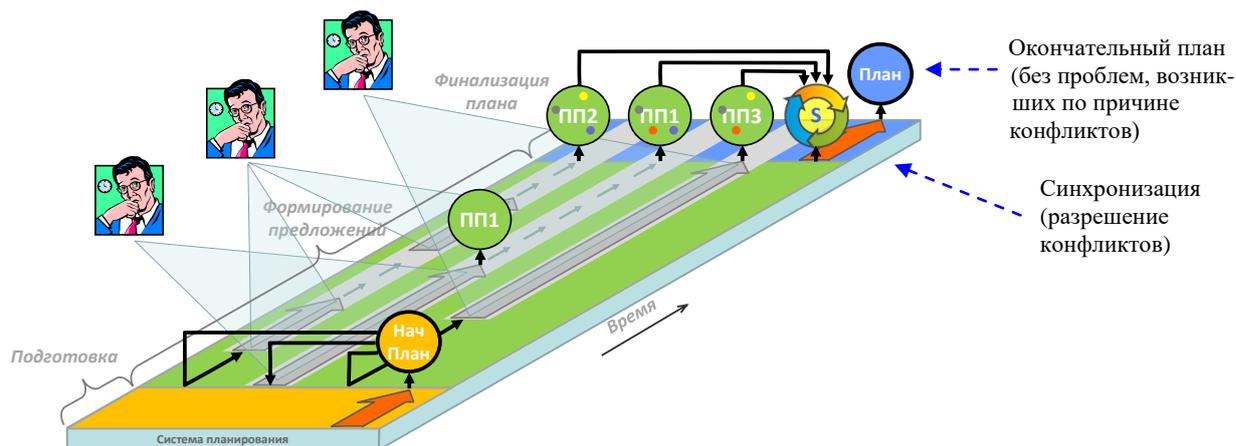
Таким образом, в многопользовательских системах планирования с общим рабочим пространством, несмотря на некоторое первоначальное снижение длительности всего цикла планирования, все еще невозможно эффективно решить проблему с конфликтными ситуациями планировщиков. При детальном анализе конфликтных ситуаций планировщиками вполне может оказаться, что длительность процесса будет сопоставимой с длительностью работы в однопользовательских системах. Также следует еще раз подчеркнуть, что многопользовательские системы планирования с общим рабочим пространством не имеют функциональности поддержки и координации коллективной работы планировщиков.

*Многопользовательские системы планирования с распределенной рабочей областью*

Следующий тип систем – многопользовательские системы планирования с распределенной рабочей областью.

Процесс планирования в этих системах отличается от всех рассмотренных ранее. Он разделен на три этапа (рисунок 82). За этапом подготовки исходных данных, который является общим для всех архитектур, следуют два этапа вместо одного: формирование предложений; финализация

плана. В многопользовательской системе планирования с распределенной рабочей областью каждому планировщику предоставляется собственная рабочая область с копией исходного плана. Планировщики имеют возможность работать в параллельном режиме, время от времени обмениваясь информацией между собой. Конфликты, которые не удалось решить в рамках сессии формирования предложений, разрешаются на стадии финализации плана.



**Рис. 82 – Процесс планирования в многопользовательской системе планирования с распределенной рабочей областью**

В отличие от других архитектур, в рассматриваемом варианте отсутствуют инциденты непреднамеренного и невозвратимого удаления предложений разных планировщиков. Ни одна деталь плана не удаляется в результате конфликтов. Многопользовательские системы планирования с распределенной рабочей областью – единственные в своем роде приложения, которые позволяют решать проблемы потери ценной информации в ходе коллективной работы с планом, тем самым повышая качественный уровень всего процесса. Это значит, что данная архитектура первая в своем роде, которая позволяет оценивать различные конфликтующие предложения с целью максимизации ценности финального плана. Эта задача решается в рамках заключительного этапа планирования.

Этап финализации включает в себя так называемую синхронизацию, цель которой сбалансировать предложения разных экспертов между собой.

Финальная синхронизация может осуществляться автоматически, полуавтоматически или в ручном режиме.

Главный планировщик является главным пользователем этого инструмента. Информация о ситуации в разных рабочих областях предоставляется главному планировщику или другому авторизованному лицу. Это позволяет осуществлять контроль над работой планировщиков разных рабочих областей. Но не только. Также главный планировщик может активно вмешиваться в процесс планирования, в процесс разрешения конфликтных ситуаций. По своему усмотрению он может разрешать конфликты, о которых он был извещен.

В случае возникновения конфликта, который не был обработан еще автоматически, главный планировщик может либо разрешить запуск алгоритма автоматической внутренней синхронизации, либо вмешаться в процесс планирования в ручном режиме.

Многопользовательская система планирования с распределенной рабочей областью является первой системой, которая обеспечивает эффективную поддержку как работы планировщиков между собой, так и их координации извне. Представленные доводы говорят о том, что многопользовательские системы планирования с распределенной рабочей областью имеют существенные преимущества перед другими системами и с большей вероятностью обеспечивают подготовку более качественного плана. Ключом к успеху является систематическое разрешение возникающих конфликтных ситуаций без потери какой-либо информации.

Время планирования, дневной цикл планирования значительно сокращаются, так как планировщики имеют возможность работать в параллельном режиме. Рассматриваемые системы в полной мере поддерживают коллективную работу планировщиков. Немаловажным аспектом является поддержка данными системами функций координации группы планирования главным планировщиком.

## Архитектуры систем оперативного планирования – Сравнительный анализ

При анализе трех архитектур систем планирования, рассмотренных ранее, с точки зрения их вклада в повышения качества плана очевидны преимущества многопользовательских систем планирования с распределенной рабочей областью с точки зрения: длительности цикла планирования, возможностей поддержки коллективной работы планировщиков и их координации (таблица 22). Чем более комплексной является среда планирования, тем больше преимуществ от использования многопользовательских систем планирования с распределенной рабочей областью.

Таблица 22

### Сравнительный анализ архитектур систем оперативного планирования производства для условий комплексных сред

Архитектура	Качество плана (Конфликты)	Продолжительность цикла планирования	Командная работа	Координация группы планирования
Однопользовательская				
Многопользовательская с общей рабочей областью	 / 			
Многопользовательская с распределенной рабочей областью				

Многопользовательские системы планирования с распределенной рабочей областью являются АСП ЦП нового поколения, которые, используя преимущества коллективной работы, позволяют добиваться группе планирования более качественных результатов в короткие сроки.

*Пример внедрения многопользовательской системы планирования с распределенной рабочей областью у производителя специальных сталей – TimkenSteel.*

Процесс производственного планирования в компании охватывает цепь достаточно сложных материальных потоков с большим количеством агрегатов,

имеющих специфические требования к планированию. Для одного планировщика создание качественного производственного плана всего этого производственного комплекса было бы непосильной задачей. Поэтому в компании работает группа, состоящая из 10-ти планировщиков.

Одним из наиболее значимых результатов внедрения системы оперативного планирования с распределенной рабочей областью является тот факт, что в компании удалось создать решение, которое позволяет планировщикам работать в команде. Это значит, что конфликты между решениями планировщиков в ходе планирования решаются систематически и благодаря этому удастся достичь синергетического эффекта в повышении качества плана. Ключевыми элементами новой системы планирования являются так называемые домены планирования и функциональность по синхронизации решений планировщиков.

*Домены планирования / Многопользовательское планирование с распределенной рабочей областью*

Одной из ключевых особенностей новой системы планирования является применения концепции доменов планирования или рабочих областей планировщиков. Домены планирования это частично независимые рабочие области планировщиков, число которых определяется сложностью производства. На рисунке 83 можно увидеть покрытие доменами цепи поставок компании.

Проектная группа по внедрению новой системы планирования решила разбить производственный комплекс на пять доменов планирования: выплавка и разливка (LCS), горячий прокат (HRM), производство бесшовных труб (PRC), термообработка (TT) финализация (FIN). За подготовку производственного плана для каждого домена планирования отвечает один или несколько планировщиков. Кроме вышеназванных пяти доменов планирования, существуют специальные домены планирования. Эти домены созданы для пользователей, работающих с планами в режиме просмотра.



**Рис. 83 – Разбиение цепи поставок на домены планирования**

Каждый планировщик может создать свою отдельную версию плана в своем домене планирования. Таким образом, эти версии планов доменов будут независимы друг от друга на этом этапе планирования, и все решения планировщиков будут в них сохранены.

Рабочая область для каждого домена планирования имеет удобный пользовательский интерфейс, который может быть настроен индивидуально для каждого планировщика. В рабочей области отображается вся необходимая для планирования информация, которая доступна, в том числе, и в режиме редактирования. Планировщики могут видеть эффект от любого их изменения плана незамедлительно в виде изменений уровня загрузки ресурсов, изменений плана кампаний, обновления значений ключевых показателей эффективности и т. д.

В каждом домене планирования ведется детальная история изменений плана. Наличие истории изменений позволяет планировщикам возвращаться к заданной версии плана в любой момент времени. Таким образом, при проведении сценарного анализа планировщики могут не беспокоиться о том, что они не смогут отменить принятые или вернуть отмененные изменения. Переход к сохраненной версии плана – вопрос одного щелчка мышью.

Базовые настройки к различным доменам планирования в основном одни и те же. В то же время отдельные домены планирования могут иметь

специфичные требования. Ниже для примера приведены требования некоторых доменов:

- тесная связь домена сталеплавильного производства (домен LCS) с решением по составлению расписаний выплавки и разливки.

Примечание: Домен можно использовать для интеграции данных из внешних программных модулей. Таким образом, решение можно применять в качестве общего информационного пространства для других модулей планирования и составления расписаний. TimkenSteel использует специальный инструмент для составления расписаний выплавки и разливки – LOGIS Caster Scheduler, который интегрирован в систему планирования в качестве отдельного домена;

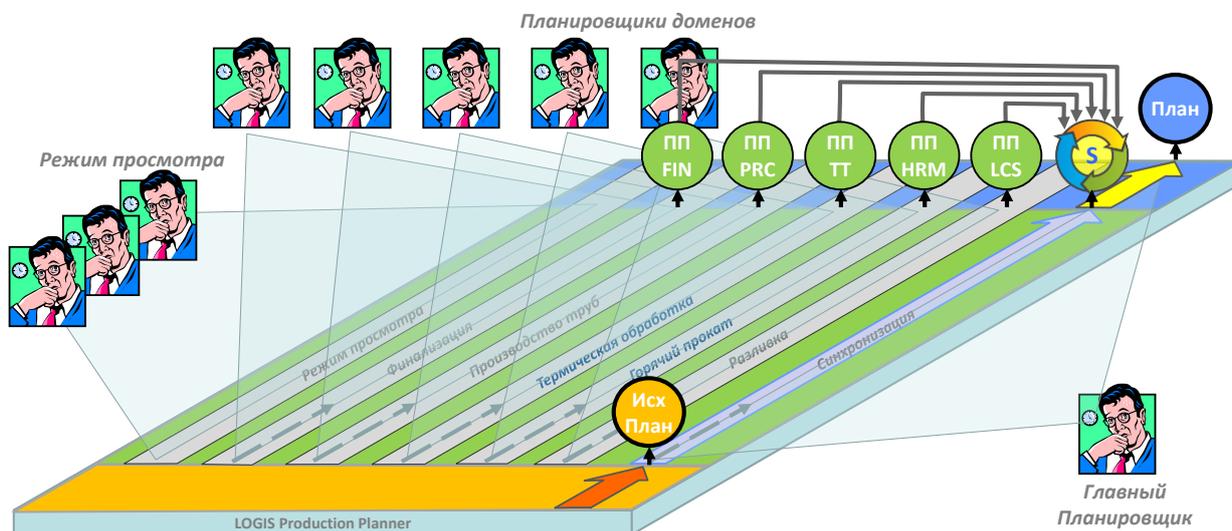
- три уровня производственных кампаний и детальное расписание производства на площадке горячего проката (HRM домен планирования);
- производственные кампании и альтернативные ресурсы в трубопрокатном производстве (PRC домен планирования);
- динамичное планирование кампаний на основании актуального портфеля заказов, множество альтернативных ресурсов, требования по формированию производственных партий для термического участка (ТТ домен планирования);
- альтернативные маршруты производства.

Следующие абзацы посвящены сессиям по производственному планированию.

#### Работа в доменах планирования

Основная часть работы с планом осуществляется планировщиками в течение дня в соответствующих доменах планирования (рисунок 84). Стоит отметить, что если несколько планировщиков изначально работают в группе и их работа организована соответствующим образом, конфликты между ними маловероятны и в таком случае они могут работать в одном общем домене (у них один общий домен). Планировщики оценивают план исполнения заказов и загрузку ресурсов в зоне своего домена планирования и, комбинируя

автоматический и ручной режимы планирования, создают план производства в этом домене. Планировщики доменов видят актуальные планы производства друг друга в каждый момент времени, однако эти планы не оказывают влияния на их собственные версии производственного плана до определенного момента времени.



**Рис. 84 – Организация процесса планирования**

#### Рабочая область главного планировщика

Для главного планировщика разработана специальная рабочая область (рисунок 84). Она доступна для него в течение всего процесса планирования, а не только в рамках планирования доменов. В этой рабочей области главный планировщик может настроить расписание сессий планирования, задать время на независимое планирование доменов, проанализировать планы доменов и возможные конфликты между ними, запустить процедуру синхронизации планов доменов (см. описание ниже) и т. д.

#### Конфликты между планами различных доменов

В своей работе планировщики используют как информацию, которую предоставляет система планирования, так и неформализованную информацию, которой они обладают сами. Эта неформализованная информация может поступать им по почте, по телефону и любым другим способом. При этом она может значительно отличаться по формату и содержанию для различных планировщиков. Каждый планировщик концентрируется на специфичных

проблемах своего домена планирования и в результате решения, принятые различными планировщиками, могут значительно отличаться друг от друга.

Благодаря тесной зависимости доменов планирования, связанных между собой материальными потоками, часто возникают ситуации, когда решения планировщиков различных доменов конфликтуют друг с другом.

Подобные конфликты можно воспринимать как неизбежное зло при планировании. Однако с точки зрения бизнеса, при планировании в команде подобные конфликты являются возможностью повышения качества плана. Отслеживание этих конфликтов позволяет проанализировать причины их возникновения и логику принятия решений планировщиками, а также выбрать наиболее подходящее решение для каждого конкретного случая. В этом случае ни одно предложение планировщиков не должно быть потеряно, как это обычно происходит в классических системах планирования. Ситуации, когда при работе нескольких планировщиков одновременно в системе решения одного планировщика отменяют решения другого без детального анализа значимости отмененных изменений и выбора наилучшего решения, должны быть исключены.

Новая система планирования выявляет подобные конфликты автоматически и информирует об этом всех участников процесса планирования незамедлительно. Таким образом, планировщики могут отреагировать на эти конфликтные ситуации по мере их возникновения или дождаться процедуры синхронизации, основная цель которой разрешение подобных конфликтов.

### Синхронизация

Финальный план производства должен трактоваться однозначно всеми участниками планирования, т.е. он не должен содержать противоречий. Для получения такого плана планы различных доменов должны быть синхронизированы. В рамках процедуры синхронизации происходит синтез планов различных доменов. Результатом этой процедуры является финальный план производства.

Главный планировщик назначает время в течение дня для начала процедуры синхронизации. В рамках этой процедуры планы доменов

объединяются в одну синхронизированную версию плана. При этом также обновляется информация об изменениях в заказах, произведенных во внешних системах; информация об актуальных расписаниях выплавки и разливки. При синхронизации выявляются конфликты между решениями планировщиков различных доменов и предлагаются возможные решения на основе заданных правил и приоритетности доменов.

Система планирования обеспечивает наглядность представления информации об измененных планах заказов, о выявленных конфликтах и предлагаемых решениях. Заказы при этом ранжируются согласно уровню критичности изменений. Это позволяет главному планировщику сконцентрироваться на анализе наиболее значимых расхождений. В рамках синхронизации главный планировщик может внести изменения в синхронизированный план самостоятельно или организовать короткое совещание для лучшего понимания логики принятия решений планировщиков различных доменов и принятия решения об окончательной версии плана.

Опыт рассматриваемой компании показывает, что благодаря наглядности системы планирования в части представления решений, принятых планировщиками, и их влияния на качество плана, качество планирования начинающих планировщиков в компании значительно улучшилось.

#### Оценка качества плана

Для главного планировщика очень важно иметь оценку в каждый момент времени качества синхронизированного плана. Качество плана может быть оценено на разных уровнях. Глобальные показатели эффективности оценивают качество производственного комплекса в целом. На этом уровне сохраняются показатели предыдущих версий плана для целей отслеживания тренда изменения качества плана. Показатели эффективности могут быть представлены в табличном и графическом виде. Следует отметить, что список показателей эффективности может изменяться в зависимости от потребностей компании.

Качество плана оценивается не только на глобальном уровне, но и на уровне каждого производственного ресурса, и на уровне каждого клиентского

заказа. Это позволяет главному планировщику и планировщикам доменов быстро выявить проблемы и способы их устранения для улучшения качества плана.

#### Формирование окончательного плана / Завершение сессии планирования

Время, которое отводится планировщикам для создания планов доменов, определяется главным планировщиком. Обратный отсчет времени до окончания этапа планирования доменов ведется прямо в системе планирования (табло счетчика на панели управления).

После синхронизации начинается этап публикации финальной версии плана. Главный планировщик еще раз оценивает результаты планирования и принимает решение о публикации новой версии плана. В случае необходимости главный планировщик может всегда вернуться на предыдущий этап планирования и произвести необходимые корректировки в плане, или назначить задания для планировщиков доменов по внесению изменений в план. После всех необходимых действий главный планировщик сохраняет новую версию производственного плана. После сохранения плана он становится доступным для заданных участников процесса планирования и исполнения, и с этого момента может начаться следующая сессия планирования.

Представленные материалы продемонстрировали работу группы планировщиков в комплексной среде планирования с использованием многопользовательской системы планирования с распределенной рабочей областью.

Внедрение новой системы планирования в TimkenSteel позволило существенно повысить качество планов, их ключевых показателей эффективности.

#### *Выводы*

Несмотря на стремительное развитие информационных технологий, создание адаптивной системы автоматического управления цепью поставок, которая бы могла работать без значительного вовлечения человека, на сегодняшний день не представляется возможным. Более того, усложнение материальных потоков в цепях поставок современных предприятий зачастую

требует привлечения целой команды экспертов по планированию. В связи с этим к информационным технологиям по оперативному планированию сегодня предъявляются новые требования – поддержка и управление командной работой группы планирования в комплексных средах. Исходя из этого можно сделать вывод, что в ближайшие годы на рынке АСП ЦП будут активно развиваться решения нового поколения, которые будут отвечать этим новым требованиям.

### **5.6. Оперативное планирование цепи поставок Trinecke Zelezarny**

В рамках настоящего подраздела рассмотрен передовой опыт внедрения системы оперативного планирования цепи поставок Trinecke Zelezarny [38, 55]. Автор неоднократно организовывал ознакомительные визиты представителей российских металлургических компаний в Trinecke Zelezarny с целью перенятия передового опыта. В рамках описываемых проектов в Trinecke Zelezarny была создана модель и программно-математический комплекс составления расписания выплавки и разливки.

К середине 2000-х Trinecke Zelezarny (TZ) столкнулась с беспрецедентными для себя факторами: ситуацией, связанной с возрастанием конкурентного давления; глобализацией; консолидацией в отрасли; повышением требований заказчиков к скорости и гибкости доставки; ограничением ресурсов; требованиями акционеров по повышению стоимости компании и другими.

Для обеспечения высокой конкурентоспособности TZ инициировала ряд проектов стратегических изменений во всех важных областях жизни компании. Эти изменения затрагивали партнерские отношения компании, технологию, кадры и управление в целом. Самым крупным проектом в области управления стало внедрение АСП ЦП. Перед проектом ставилась цель не только в достижении высокой производственной эффективности (минимизация НЗП, точное определение сроков потребности материалов, повышение загрузки оборудования, высокая производительность, сокращение цикла производства), но также и в достижении высокого качества клиентского сервиса (повышение

дисциплины отгрузки, гибкое реагирование на запросы заказчиков, сокращение сроков поставок, информационный сервис).

Выполнение заказа на металлургическом предприятии – это комплексный процесс. На его ход оказывает влияние большое количество самых разнообразных изменяющихся во времени факторов. Существующие на момент начала проекта инструменты не предоставляли возможности учета этих факторов. Указанные инструменты не были способны быстро оценить ситуацию и определить оптимальный порядок действий в виде плана того, кто, что и когда должен делать. Это приводило к ситуации, когда решения принимались без достаточной степени обоснования и без просчета возможных последствий. Реализация проекта внедрения АСП ЦП была нацелена на решение, в том числе, этих задач.

Настоящий подраздел посвящен изучению опыта внедрения системы расширенного планирования в компании TZ.

#### *Определение объема проекта*

Цели проекта вместе с ключевыми требованиями к решению были определены уже на коммерческом этапе. Ключевые функциональные требования были детально проработаны для каждой области внедряемого решения: планирование металлургического производства, назначение материалов, составления расписаний сталеплавильного цеха, управление процессом планирования и интеграции решения с имеющейся информационной системой предприятия TZ. С одной стороны, при проектировании решения LOGIS ориентировался на так называемые лучшие практики в металлургии. С другой стороны, участники проекта со стороны заказчика представили свои требования по целевому решению, основываясь на глубоких знаниях существующих процессов, проблемных областей и собственных представлений о возможностях АСП ЦП. Подробная проработка масштаба проекта позволила проектной команде разбить общий план проекта на отдельные этапы, благодаря чему упростился процесс мониторинга реализации решения в рамках процедур управления проектом.

### *План внедрения*

Внедрение АСП ЦП было разбито на пять этапов.

Этап 1. Подготовительный этап, главной целью которого было детальное определение масштаба решения и уточнение плана внедрения.

Этап 2. Целью второго этапа было создание базовой модели планирования выбранного производственного блока.

Этап 3. В рамках третьего этапа осуществлялось тестирование и отладка двух важных этапов цикла планирования: назначение материала и планирование производства на реальных данных компании для подтвержденных заказов.

Этап 4. В рамках четвертого этапа был отлажен уже полный цикл планирования с планированием подтвержденных заказов и оценкой новых заявок клиентов. Был реализован так называемый внутренний замкнутый цикл планирования (настроена связь с результатами предыдущего этапа планирования). Также были изменены сами процессы планирования с учетом внедрения АСП ЦП.

Этап 5. Пятый этап реализовывался параллельно с другими этапами. В рамках пятого этапа выполнялось внедрение модуля составления расписаний сталеплавильного цеха.

### *Процесс внедрения*

Внедрение АСП ЦП происходило в соответствии с методологией внедрения компании LOGIS. Внедрение было разбито на несколько этапов, результаты которых были нацелены на достижение целей проекта. Процесс управления проектом был максимально прозрачным.

В основе методологии управления проектам LOGIS лежит концепция регулярной постановки задач для проектной группы с четко оговоренными сроками. Реализация этих задач должна гарантировать своевременное достижение промежуточных целей проекта.

Разработка таких задач является крайне ответственной деятельностью. Ошибки в определении задач могут поставить под угрозу сроки и бюджет

проекта. На проекте TZ задачи были достаточно сложными. Их описание занимало несколько страниц с математическими выкладками.

Выполнение подобных задач также являлось нетривиальным делом. Например, в части подготовки исходных данных важным требованием было обеспечение качества этих данных (структура, целостность, полнота структуры, значения ...). Проектная группа осознавала, что результаты выполнения, в том числе, этой задачи определяют успешность будущей промышленной эксплуатации АСП ЦП. Очевидно, что на команду внедрения налагались повышенные требования, и без самоотверженного подхода ее участников было бы невозможно ввести решение в промышленную эксплуатацию.

#### *Ввод в промышленную эксплуатацию и стабилизация*

В связи со сложностью системы планирования, высокой степенью ее влияния на работу предприятия было принято решение о ее поэтапном вводе в промышленную эксплуатацию. Ввод АСП ЦП осуществлялся на протяжении нескольких недель, в течение которых рамки производственной модели постепенно расширялись. В модель вводили новый сортамент и новые производственные ресурсы. Каждый этап расширения модели тщательно тестировался и анализировался. По результатам оперативно принимались необходимые меры.

Ввод АСП ЦП в промышленную эксплуатацию вовсе не означал момент достижения всех заданных показателей эффективности. На первом этапе после начала промышленной эксплуатации была необходима стабилизация всего решения и связанных с ним бизнес-процессов.

В рамках этого этапа осуществлялась тонкая настройка решения, вычищались данные. Только к этому моменту пользователи в полной мере начали осознавать влияние АСП ЦП на их работу. Этот опыт был необходим для дальнейшего улучшения бизнес-процессов предприятия. Только спустя некоторое время сотрудники компании TZ при поддержке АСП ЦП в рамках новых производственных процессов начали стабильно достигать заданных показателей на уровне всего предприятия.

Интенсивность работы команды внедрения не падала еще в течение нескольких месяцев после ввода системы в промышленную эксплуатацию. Это не следует рассматривать, как результат некачественной работы. При таких масштабных и принципиальных изменениях, осуществляемых без остановки работы предприятия, трудно предположить, что план проекта может изначально предусмотреть всевозможные ситуации. Стремление сэкономить время и деньги на этом этапе может значительно снизить ценность результатов. При внедрении подобных систем целесообразно учитывать этот фактор и изначально закладывать в бюджет возможные непредвиденные расходы.

### *Описание решения*

В результате реализации проекта АСП ЦП стала неотъемлемой составной частью комплексной информационной системы компании, ориентированной на эффективную поддержку производственных процессов. Технологии АСП позволили реализовать в компании абсолютно новый подход к организации процесса планирования.

Цель процесса планирования состоит в подготовке исходных целевых данных для процесса исполнения. Результаты планирования являются основой для подготовки в различной форме заданий производству, выполнение которых ведет к достижению заданных руководством целей. В случае TZ – к максимальной дисциплине отгрузок при максимальной производственной эффективности.

### *Ежедневный цикл производственного планирования и составления расписаний работы оборудования*

Ключевыми результатами процесса планирования являются:

- реалистичный план производства;
- реалистичное расписание сталеплавильного цеха;
- данные о результатах проверок выполнимости заказов.

В основе процесса ежедневного планирования производства лежат несколько ключевых этапов.

Цикл планирования начинается после полуночи подготовкой исходных данных для системы АСП ЦП. Источником данных выступает система SAP

ERP. Исходные данные передаются в LOGIS Metals Matrix, в котором осуществляется их контроль, обработка и консолидация с результатами предыдущего цикла планирования.

#### Назначение материала

Рано утром начинается автоматическая часть назначения имеющегося по переделам свободного материала заказам. Результатом автоматической обработки является назначение материала на заказы, которые им максимально подошли по критериям соответствия. Для остальных заказов готовятся предложения о возможных назначениях. Результаты автоматической обработки доступны для планировщика к моменту его прихода на работу. После беглого контроля результатов автоматических назначений с высокими критериями соответствия, планировщик сосредотачивается на выборе наиболее подходящих вариантов назначения материала для оставшихся открытых заказов, используя предлагаемые системой опции. Назначения на ближайшем горизонте автоматически фиксируются, при этом планировщик имеет возможность зафиксировать также назначения за этим горизонтом. Этот этап планирования поддерживается модулем i2 Material Allocator.

#### Планирование производства: Балансирование мощностей

На следующем шаге планируются производственные ресурсы. При этом учитываются принятые назначения материалов и факт выполнения производственных заданий. Одной из важных задач этого шага является уточнение доступности производственных ресурсов и кампаний на ключевых прокатных станах с учетом актуальных и предполагаемых заказов. Осуществляется позаказное планирование с учетом требований по соблюдению сроков отгрузки. При необходимости для консультаций привлекаются сотрудники службы сбыта.

Корректировка плана на этом шаге осуществляется от прокатных станов по направлению к сталеплавильному цеху. Его основная цель – точное определение требований к сталеплавильному цеху не только с точки зрения объема и качественных характеристик, но и сроков. Этот этап планирования поддерживается модулем i2 Factory Planner.

### Расписание сталеплавильного цеха

Требования к сталеплавильному цеху из предыдущего этапа планирования являются самым важным входом для этапа составления расписаний выплавки и разливки. Для начала планировщики анализируют исходное состояние на ближайшем горизонте и оценивают новые требования к сталеплавильному цеху. На этом ближайшем горизонте, который не перепланируется автоматически, планировщики имеют возможность внести свои корректировки вручную. Для оставшихся периодов времени осуществляется автоматическое создание оптимизированного расписания сталеплавильного цеха. Полученное в результате расписание выплавки и разливки тщательно анализируется и корректируется планировщиками. Этот этап планирования поддерживается модулем LOGIS Caster Scheduler.

### Планирование производства: Окончательный план

Расчитанное расписание сталеплавильного цеха используется для обновления окончательного плана производства.

После планирования заказов на ключевых прокатных станах осуществляется составление их детальных расписаний, при котором на основании заданных правил устанавливается очередность обработки этих заказов на соответствующем ресурсе. На этом этапе планирования также проводится составление производственных партий на обжиговых печах и отладка плана отделочных цехов и финальных операций. В случае необходимости планировщики имеют возможность составить несколько альтернативных вариантов плана. Этот этап планирования поддерживается модулем i2 Factory Planner.

### Завершающие операции

После окончательной проверки полученный план загружается в LOGIS Metals Matrix, откуда часть его данных передается в систему SAP ERP, а также в информационные системы для управления производством. Текущий план является основой для формирования нового плана на следующем суточном цикле планирования.

LOGIS Metals Matrix также осуществляет обработку данных плана для их презентации в виде, подходящем для различных групп конечных пользователей. Эти данные включают в себя, в том числе, историю показателей плана.

### *Процесс обещания заказов*

Стремление к достижению высокого качества клиентского сервиса было одним из главных факторов при принятии решения о внедрении АСП ЦП. Именно поэтому при внедрении АСП ЦП и ее стабилизации особое внимание уделялось высокой дисциплине отгрузки. В связи с этим результаты внедрения новой системы планирования в этой области наиболее примечательны.

Основные принципы достижения высокой дисциплины отгрузки можно сформулировать в нескольких пунктах.

#### 1. Оценка всех заявок клиентов в системе планирования.

Каждая новая заявка клиента должна просчитываться в системе планирования для учета актуального состояния производства. Это касается также заказов, в спецификацию которых клиент внес существенные изменения. В ходе анализа должны учитываться резервы производственных мощностей по уже подтвержденным заказам для того, чтобы гарантировать обещанные сроки их отгрузки.

#### 2. Подтверждение исключительно на основе анализа.

Подтверждение новых или измененных заказов должно осуществляться на основе результатов расчета в системе планирования.

#### 3. Мониторинг дисциплины отгрузки при планировании.

Любые изменения в плане должны оцениваться с точки зрения их влияния на дисциплину отгрузки.

#### 4. Соблюдение плана в производстве.

Необходимо строго придерживаться утвержденного плана производства. В случае отклонения факта от плана сотрудники должны активно участвовать в решении возникших проблем.

Результаты по уровню дисциплины отгрузок, достигнутые в TZ благодаря применению вышеперечисленных принципов, подтверждают эффективность предлагаемого подхода.

### *Результаты*

#### Планирование производства

Планирование производства до начала проекта было ориентировано преимущественно на определение месячного объема продукции на главных производственных ресурсах и исходило, прежде всего, из средних норм выработки. Определенное уточнение плана давал расчет производственных кампаний на финальных прокатных станах. Эти производственные кампании обычно длились несколько недель и содержали широкий сортамент продукции. Однако сроки начала-окончания производственной кампании определенного объема и сроки производства конкретных изделий по заказам могли существенно отличаться. Естественно, возникали проблемы при балансировке производства по переделам.

После внедрения АСП ЦП планирование всех заказов производится на основе актуальных норм выработки.

При создании плана планировщики располагают необходимыми сведениями о возможных будущих проблемах и ограничениях, которые могут возникнуть по разным причинам. Поддержка АСП ЦП позволила планировщикам сосредоточиться на существенных проблемах в плане выполнения заказов для достижения заданных значений глобальных показателей эффективности.

#### Составление расписаний сталеплавильного цеха

Исходные данные для составления расписаний выплавки и разливки подготавливали пятью сотрудниками, которые обрабатывали заказы для отдельных прокатных станов и готовили требования на полуфабрикаты в разрезе так называемых кампаний. Группа из следующих пяти планировщиков создавала расписание производства в сталеплавильных цехах (кислородно-конверторный сталеплавильный цех и электросталеплавильный цех). Это расписание производства с достаточной точностью рассчитывалось на

ближайшие 4-7 дней. За этим горизонтом точность расписания существенно снижалась. Разработка расписания занимала много времени (ручной подсчет потребностей в отдельных марках стали, поиск подходящих полуфабрикатов на складе, расчет предварительных балансов и т. п.).

Кроме того, изменение плана прокатных станов или невыполнение расписания сталеплавильного цеха с точки зрения реализованного объема или качества в большинстве случаев приводили к необходимости пересчета потребностей в заготовках и созданию нового расписания. Часто это делалось по окончании рабочего дня и в выходные. Проблемы возникали также у производственного диспетчерского центра сталеплавильного цеха при необходимости быстрого принятия решения о том, что делать в случае, когда не удалось реализовать запланированную плавку. Причина заключалась в том, что в распоряжении сотрудников не было почти никакой информации о требованиях к сталеплавильному цеху за 1-2-х недельным горизонтом. При расчете календарного производственного плана оценивался только общий объем без разделения на плавки (или последовательности) с привязкой к конкретным заказам. В результате этого регулярно возникали излишние запасы в сталеплавильных цехах.

После внедрения АСП ЦП требования (производственные заказы) к сталеплавильному цеху автоматически генерируются на основании актуального плана производства. Этот принцип позволяет планировщику сталеплавильного цеха работать с точными требованиями не только на горизонте составления расписаний, но и в целом горизонте планирования заказов (4 месяца). Благодаря информационной поддержке (LOGIS Caster Scheduler) расписание сталеплавильного цеха готовится на горизонте 40 дней, при этом детальное расписание (с последовательностями) рассчитывается на горизонте минимум 14 дней. Следует отметить, что расписание сталеплавильного цеха не является статическим, ежедневно переоценивается в зависимости от актуальной ситуации.

Кроме повышения качества расписания сталеплавильного цеха удалось также обеспечить существенно более высокий уровень поддержки при

принятии оперативных решений в производственном диспетчерском центре сталеплавильного цеха.

### Назначение материала

Продукция сталеплавильного цеха хранилась на складе без привязки к конкретному заказу.

Назначение материала на конкретный заказ осуществлялось только незадолго перед началом его прокатной кампании.

Назначение материала на конкретные заказы в рамках информационной системы проводилось только для катаных заготовок и для готовой продукции после финального прокатного стана. При таком способе назначения материала происходил некорректный подбор материала или «отчуждение» материала другим заказом. Пользователи не располагали практически никакой информацией о планируемом производстве полуфабрикатов и до последнего момента не знали, придёт ли требуемый материал к стану вовремя или опоздает. В результате этого не было простора для оптимизации назначения доступного материала и, как следствие, низкая дисциплина выполнения заказов.

После внедрения АСП ЦП практически исключено производство без привязки к конкретному заказу. В начале каждого цикла планирования производится автоматическая привязка свободного материала к конкретным заказам. В более сложных случаях осуществляется поиск подходящих материалов с участием планировщика. Таким образом, назначение материала осуществляется на всем горизонте планирования в соответствии с актуальными требованиями производственных заказов, сформированных на основе производственного плана.

Работники, ответственные за планирование станов, за составление расписаний сталеплавильного цеха и назначение материала до внедрения АСП ЦП добросовестно выполняли свои задачи и старались добиться наилучших результатов. Однако при старой организации процесса планирования они могли достичь только локальной оптимизации.

Только с внедрением нового процесса планирования производства на базе АСП ЦП удалось достичь более высокой степени взаимосвязанности отдельных этапов этого процесса. Таким образом, новый процесс позволяет создавать план производства, который отличается высоким качеством и отвечает глобальным целям деятельности компании.

### Обещание заказов

Проверку новых клиентских заявок осуществляли плановики финальных прокатных станов, и от их опыта и ответственности зависело качество прогноза выполнения заявки.

Были также и объективные причины низкого качества обещания сроков выполнения заказов клиентов. Прежде всего, ограничения существующего в прошлом процесса и низкий уровень его поддержки информационными системами. Проверка новой заявки осуществлялась в рамках так называемого жизненного цикла заказа. Проверка начиналась после окончания подбора соответствующей технологии изготовления в SAP работником технологической службы. В рамках проверки устанавливался только срок производства на прокатных станах. Этот срок устанавливал планировщик стана путем оценки уровня наполнения объемов производственных кампаний в утвержденной программе прокатки. Эта программа прокатки каждого стана определяла порядок и объем отдельных кампаний в соответствии с планом сбыта.

Срок прокатки просчитывался от требуемой даты отгрузки с использованием длительности технологических циклов для данного типа изделия. Эта длительность технологических циклов не была достаточно точной. Ситуацию пытался исправить планировщик, который в ручном режиме на основании экспертных оценок корректировал длительность производственного цикла.

Планировщики финальных прокатных станов также осуществляли проверку (на основании экспертных оценок) по новым заказам на предмет отсутствия нарушения ограничений сталеплавильного цеха. С достаточной точностью план производства определялся на горизонте максимум одной недели. За этим горизонтом план производства в сталеплавильном цеху

рассчитывался очень грубо. Только для производимых в небольшом объеме сталей и специальных марок стали осуществлялась оценка возможности их производства. Однако точность прогнозов была недостаточной, и очень многое зависело от опыта работников, которые их составляли.

Желание планировщика прокатного стана любой ценой выполнить заказ клиента приводило к принятию заказов без тщательной оценки реалистичности сроков сдачи. Вследствие этого планировщик зачастую принимал на себя ответственность за своевременное выполнение заказа, не имея при этом возможности оценить возможность выполнения заказа и влияние приема этого заказа на остальные уже подтвержденные заказы.

Описанный подход к обещанию заказов был вполне приемлемым и обеспечивал дисциплину отгрузки в 70-80% при точности обещания в один месяц, что являлось стандартом для большинства металлургических предприятий. Однако новые стратегические заказчики компании, прежде всего, из автомобильной отрасли, имели абсолютно иные представления о требуемом уровне клиентского сервиса.

После внедрения АСП ЦП был принят комплексный процесс проверки новых заявок. Его цель – предоставление реалистичных сроков выполнения заказов. Реалистичность достигается за счет учета производственной ситуации и ограничений по данному заказу по всему потоку материала от сталеплавильного цеха, проката до финализации. Однако только качественных проверок новых заявок было бы недостаточно для существенного повышения уровня клиентского сервиса. Обеспечение отгрузки заказа в срок является главной целью не только всех участников процесса планирования, но и работников в цехах, ответственных за выполнение плана. Продвижению ключевых стратегий компании в значительной мере способствовала разработка системы мотивации для сотрудников.

Наиболее явным изменением процесса планирования при внедрении АСП ЦП является переход от планирования объемов к планированию заказов. Раньше главной целью в цехах было производство общего заданного планового объема на стане без привязки к заказам. После внедрения АСП ЦП главной

целью является производство на стане конкретных заказов в соответствии с установленным планом, который оптимизируется с учетом глобальных целей всей компании. Были некоторые опасения, что новая система управления приведет к снижению объемов месячного производства, но в реальности в некоторых случаях даже удалось увеличить объемы производства.

### **Расширение модели оперативного планирования в Trinecke Zelezarny**

В рамках настоящего подраздела анализируется расширение модели оперативного планирования цепи поставок Trinecke Zelezarny.

После внедрения АСП ЦП для управления производственными потоками на главном заводе Trinecke Zelezarny (г. Тринец) в 2007 году в компании были один за другим внедрены два проекта по расширению системы планирования.

1. 2009г. Трубный стан, местоположение: Витковице (около 30 миль от главного завода в Тринец).

2. 2013г. Стан биллетов, местоположение: Кладно (около 250 миль от главного завода в Тринец).

Результатом этих проектов было расширение объема системы планирования. Поэтому правильно говорить не о внедрении отдельных систем планирования на новых площадках, а о расширении объема (интегрированной) системы планирования.

#### *Проект на трубном стане, Витковице, 2009г.*

Проект на трубном стане реализовывался в период экономической рецессии в ситуации отсутствия большого числа заказов. Учитывая близость к главному заводу предприятия, с самого начала был выделен один из ключевых участников уже внедренного проекта для команды внедрения на Витковице.

Говоря о масштабе, объем нового проекта был значительно меньше, чем объем внедренного проекта на главном заводе предприятия. Тем не менее длительность внедрения составила один год.

#### 1. Создание локальной команды.

Система планирования металлургической компании будет всегда отличаться особой сложностью. Этот факт налагает особые требования к навыкам участников команды планирования. Лучший способ получения

планировщиками знаний и навыков является их прямое вовлечение во внедрение системы планирования. Таким образом, команда планировщиков имеет возможность узнать все необходимое о системе планирования шаг за шагом по мере ее внедрения.

## 2. Новые изменения существующих оперативных систем планирования.

Система планирования главного завода предприятия была обширной по своему масштабу. В 2009 году, когда в компании запускали проект на трубном стане, система была уже развернута и хорошо отрегулирована на главном заводе. Когда начинался первый проект на главном заводе предприятия, команда внедрения создавала совершенно новую систему с нуля. В отличие от этого при расширении системы планирования для трубного стана необходимо было учитывать влияние новых изменений на базовую систему планирования для того, чтобы не нарушить ее промышленную эксплуатацию. Новые изменения уже существующей комплексной системы планирования были достаточно затруднительными. Выбор вариантов включения новых требований в уже существующую и используемую систему требовали огромных усилий и внимания.

Тем не менее проект был успешным. Команде внедрения удалось добавить трубный стан в интегрированную модель планирования без каких-либо серьезных проблем.

*Проект на стане билетов, Кладно, 2013г.*

По сравнению с проектом на трубном стане проект на стане билетов реализовывался совершенно в других условиях. Во-первых, это был период достаточно высокого спроса. Ключевые мощности были загружены на 2-3 месяца вперед. Более того, организацию процесса выполнения заказов усложняло интенсивное использование давальческой схемы для операций термической обработки. Этот факт сам по себе усложнял управление.

Учитывая количество марок сталей, стан билетов имеет наиболее широкий сортамент на предприятии TZ. Этот факт, наряду со сложной геометрией продукции (профиль, длины), возлагает особые требования на управление соответствующими партиями заготовок сталелитейного участка

(непрерывная разливка) главного завода TZ. Целью проекта было обеспечение качества управления материальным потоком, для примера, подобно тому, который существовал между сталелитейным участком главного завода и станом мелкого сорта, учитывая марочный состав сталей. Кроме этого, необходимо было решить некоторые новые задачи (смена кристаллизатора, учитывая структуру материального потока в Кладно и т. д.).

Следствием этого стал тот факт, что потребности в усложнении интеграции с системой планирования главного завода значительно возросли. В течение каждой фазы процесса планирования деятельность команды планирования в Кладно была полностью синхронизирована с процессом планирования на главном заводе. Производственный процесс в Кладно управляется на основании плана в такой детальной связи с материальным потоком, что можно подумать, что это один из участков основного завода, а не производственное предприятие, находящееся в сотнях километров.

Вышесказанное также подразумевает наличие серьезных потребностей в подборе материалов. Для удовлетворения этих потребностей был внедрен специализированный инструмент LOGIS Material Allocator.

Примечание. Сравнивая с предыдущим проектом, на трубном стане отсутствовала необходимость обеспечения детальной интеграции модели планирования и синхронизации процесса создания плана. Потребность в подборе материалов также была невысока в случае с проектом на трубном стане – благодаря этому, отсутствовала необходимость применения специального программного обеспечения.

Персональная готовность стала критическим фактором. Из-за относительно большого расстояния между станом биллетов и главным заводом TZ изначально в Кладно не посылался никого из планировщиков главного завода. На протяжении внедрения системы планирования (2013) со стороны команды главного завода велся только мониторинг человеко-дней проекта на стане биллетов, и команда принимала участие в совещаниях управляющего комитета. Как выяснилось позже, это превратилось в одну из самых сложных проблемных областей.

Для достижения намеченных результатов по улучшениям при внедрении системы планирования необходимо произвести изменения существующих процессов. Это означает, что люди должны начать делать множество вещей по-новому. При этом не каждая команда приветствует изменения. Довольно часто люди как раз стараются их избежать.

Уже на этапе подготовки к проекту стало очевидным, что будет невозможно внедрить проект с существующей командой планировщиков. Поэтому было решено создать новую, специальную команду, с которой предполагалось реализовать проект внедрения и, которая должна была взять ответственность за планирование станом билетов. При выборе участников команды планирования предпочтение в первую очередь отдавалось проактивным специалистам с хорошими способностями к работе в команде. Следует отметить, что большинство этих сотрудников (за исключением одного из них) не имели предыдущего опыта в планировании.

В ходе внедрения улучшений возникла еще одна проблема – «плохая атмосфера» между изначальной командой планирования и новой командой. Исходная команда не только не помогала работе новой команды каким-либо образом, но даже, наоборот, пыталась сделать эту работу более сложной. Также эта команда стала распространять информацию, что система планирования является бесполезной, создает дополнительные сложности и никогда в действительности не заработает. Новая команда, которая не знала в деталях специфику стана билетов, не могла еще в полной мере оказать поддержку в работе отделу продаж и производству. Принимая во внимание рассматриваемую ситуацию, новая команда не могла осуществлять активное управление производственными процессами, что приводило в целом к невозможности внедрения управления предприятием на основании плана.

Это был самый проблемный момент в ходе внедрения. Локальная команда завода Кладно не смогла обучиться и развить навыки до необходимого уровня в рамках проекта. После внедрения системы планирования в промышленную эксплуатацию на стане билетов (начало 2014г.) стало ясно, что команда планировщиков и менеджеров в Кладно не смогли применить

систему планирования в качестве эффективного инструмента управления. Дисциплина отгрузки процесса выполнения заказов не улучшилась. Люди начали искать оправдания этому, находя его в несоответствующей системе планирования.

В такой ситуации руководство также не было удовлетворено результатами внедрения и ввода системы в промышленную эксплуатацию (начало 2014г.). Было принято решения о временном переходе одного из главных планировщиков TZ на стан билетов для осуществления необходимых изменений в управлении этим станом.

Было очевидно, что на первом шаге необходимо было сконцентрироваться на достижении состояния, когда план, который является результатом процесса планирования, стал бы реалистичным и устойчивым на долгосрочном горизонте. Также необходимо было создать условия для непрерывной оценки достигнутых результатов при создании плана. Только после этого было возможно приступить к внедрению системы планирования в качестве эффективного инструмента управления.

#### А. Реалистичный и устойчивый план.

В первой половине 2014 года новая команда внедрения сконцентрировалась на цели создания реалистичного плана, устойчивого на долгосрочном горизонте с точки зрения производства. Для этого было сделано следующее:

##### 1. Аудит системы планирования.

Была проведена проверка характеристик внедренной системы и был сделан вывод о том, что компания LOGIS, которая осуществляла внедрение информационной системы, проделала хорошую работу. В системе планирования не были выявлены значимые концептуальные ошибки. Все параметры системы были в соответствии со спецификацией.

##### 2. Анализ и упрощение модели.

На основании результатов анализа команда внедрения пришла к заключению, что задача обеспечения устойчивости плана осложняется тем фактом, что модель планирования учитывает слишком много деталей. Было

принято решение упростить модель планирования в различных аспектах. На некоторых ресурсах было отменено моделирование производственных партий и детальных расписаний. Также были упрощены правила по формированию партий и их заказов. Все это было сделано с целью достижения реалистичности и устойчивости в планировании.

Необходимо отметить следующее. Команде без опыта легко может показаться, что чем детальнее модель планирования в системе, тем лучше для ее успешного применения. Именно поэтому поставщиков систем планирования часто просят дополнительно учесть ряд детальных ограничений, которые больше относятся к проблемам составления расписаний, чем календарного планирования. Однако эти детали часто не столь важны для управления главным материальным потоком и становятся обременением, в конце концов.

#### В. Система измерения КПЭ.

Качество управления не может быть улучшено без его обратной связи и систематической оценки. Именно поэтому проектная команда также выделила время на внедрение системы измерения ключевых показателей эффективности (КПЭ) в первой половине 2014 года.

Система оценки должна была отвечать ряду требований. Она должна была быть создана не для того, чтобы можно было потом показать «красивые» числа. Наоборот, она должна была позволять находить слабые места, анализировать причины и принимать своевременные меры. Система оценки должна была быть бескомпромиссной. Это единственный путь повышения эффективности.

С целью повышения эффективности движения внутренних материальных потоков был разработан ряд показателей. Некоторые из них оценивали производительность всего процесса (к примеру, дисциплина отгрузки конечных заказов), другие были локально ориентированы (к примеру, загрузка ресурсов, объем незапланированных операций и т. д.). Также команда внедрения адаптировала ряд параметров и показателей из главного завода TZ.

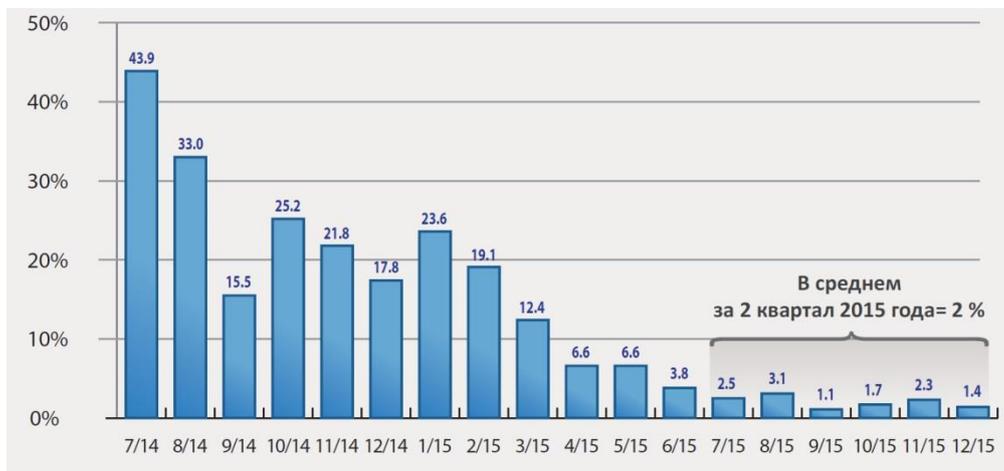
### С. Управление на основе плана.

Проектная команда смогла полностью сконцентрироваться на внедрении концепции управления на основе плана во второй половине 2014 года. С этого момента началась полноценно измеряться дисциплина отгрузки. До этого этот показатель подгонялся под желаемый результат. Однако как только стала применяться методология, которая использовалась на главном заводе в Тринец, стало очевидно, насколько плоха ситуация на заводе в Кладно. Показатель выполненных заказов с задержкой в первый месяц был 44%, что в сравнении со значениями этого показателя на главном заводе TZ можно было расценить как катастрофическое значение (на главном заводе TZ значение этого показателя колебались от 1% до 2%). В Кладно была создана команда из около 15 сотрудников вместе с руководством завода (мастера участков, технологи, планировщики, ...), и эта команда взялась за исправление сложившейся ситуации. В рамках этой команды проводилось обучение и оперативное руководство. В ходе совещаний объяснялось как работает система планирования и как команда Кладно должна работать для того, чтобы использовать ее эффективно. На первых этапах решались оперативные проблемы (например, «заказ должен был быть доставлен три месяца назад, однако он еще даже не прокатан»). Однако после месяцев работ команда Кладно постепенно начала видеть свет в конце туннеля. К примеру, уже начали решаться вопросы мониторинга производственных заказов текущего месяца для своевременной сдачи клиентских заказов в следующем месяце.

#### Результаты

После нескольких месяцев результаты начали появляться один за другим. Старожилы на предприятии, говоря о дисциплине отгрузки, верили, что производственный процесс на стане билетов такой комплексный, что сложно рассчитывать на долю задержанных заказов менее 10%. Они говорили, что невозможно добиться результата ниже этого значения. Однако то, чего удалось достигнуть в итоге, значительно превзошло все их оценки.

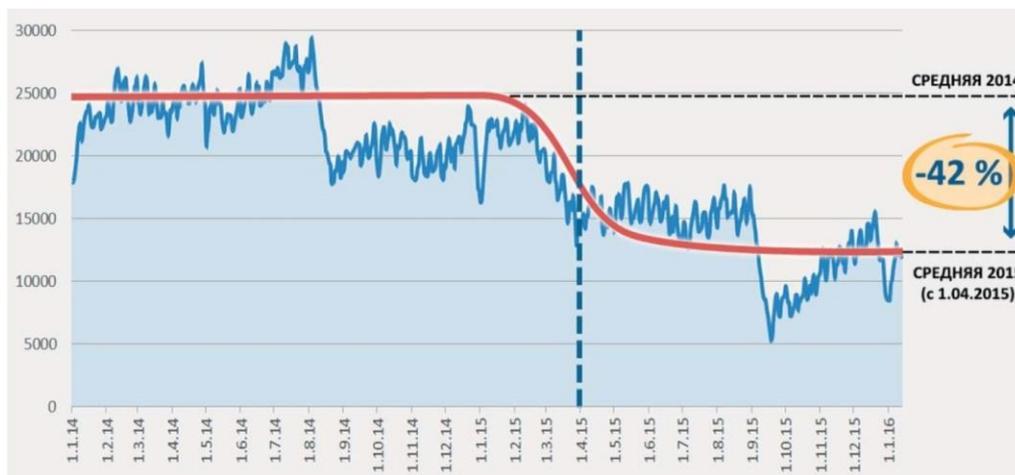
Результаты работ новой команды Кладно можно увидеть на рисунке 85. Во второй половине 2015 года средняя доля задержанных заказов была на уровне 2% (т.е. другими словами, дисциплина отгрузки равнялась 98%).



**Рис. 85 – Доля задержанных заказов в Кладно**

Примечание. Отскок в начале 2015 года, который не соответствует общему нисходящему тренду, был связан не с системой планирования, а с частными проблемами. В это время в Кладно возникли действительно серьезные проблемы с персоналом на прессах.

TZ концентрируется на Дисциплине отгрузки процесса выполнения заказов уже долгое время. Это является главной целью для компании. Однако это не значит, что эта цель достигается, жертвуя экономикой. Для примера можно привести график снижения объема НЗП на заводе отделки (рисунок 86). Необходимо отметить, что здесь 1 апреля 2015 года рассматривается как начальная дата, с которой началось полноценное управление логистикой завода и были решены проблемы с персоналом прессов. Если сравнить средний объем НЗП для 2015 года (период 1 апреля – 31 декабря 2015 года) к среднему аналогичного периода 2014 года, можно отметить сокращение объема НЗП на 42%.



*Рис. 86– Задолженность по работам*

TZ вправе гордиться этими результатами. Необходимо также отметить еще одну вещь, без которой было бы сложно представить такое хорошее окончание – поддержка руководства. Это относится и к содействию руководства стана биллетов и к поддержке, которую получала команда Кладно из главного завода (особенно от начальника управления производством и от главного производственного планировщика). Это был ключевой фактор, определивший успех работ.

Проект в Кладно показал, что при реализации таких сложных проектов необходимо уделить особое внимание к работе с командами. Предположение о том, что многократно опробованная технология планирования сама по себе гарантирует успех и отсутствие рисков, просто неверно.

### **Составление расписаний выплавки и разливки в компании Trinecke Zelezarny**

В рамках настоящего подраздела детально анализируется опыт внедрения модуля составления расписаний выплавки и разливки в Trinecke Zelezarny.

Эффективность управления металлургическими процессами выплавки и разливки оказывает значительное влияние на конкурентные преимущества компании и во многом определяет финансовые показатели ее деятельности. В рамках настоящего подраздела рассмотрен передовой опыт крупнейшего внедрения системы составления расписаний выплавки и разливки нового поколения в компании Trinecke Zelezarny.

## Описание чешского производителя стали Trinecke Zelezarny

Чешский производитель стали Trinecke Zelezarny является одним из ведущих промышленных производителей в Европе. Его сортамент продукции включает в себя катанку, арматуру, рельсы, листовой прокат, бесшовные трубы и различные профили. Компания производит сотни различных марок сталей. Годовой объем выпуска стали достигает 2,4 млн тонн. Численность сотрудников компании составляет около 5500 человек. Производственная цепь поставок компании включает в себя интегрированные мощности по производству чугуна и стали (рисунок 87).

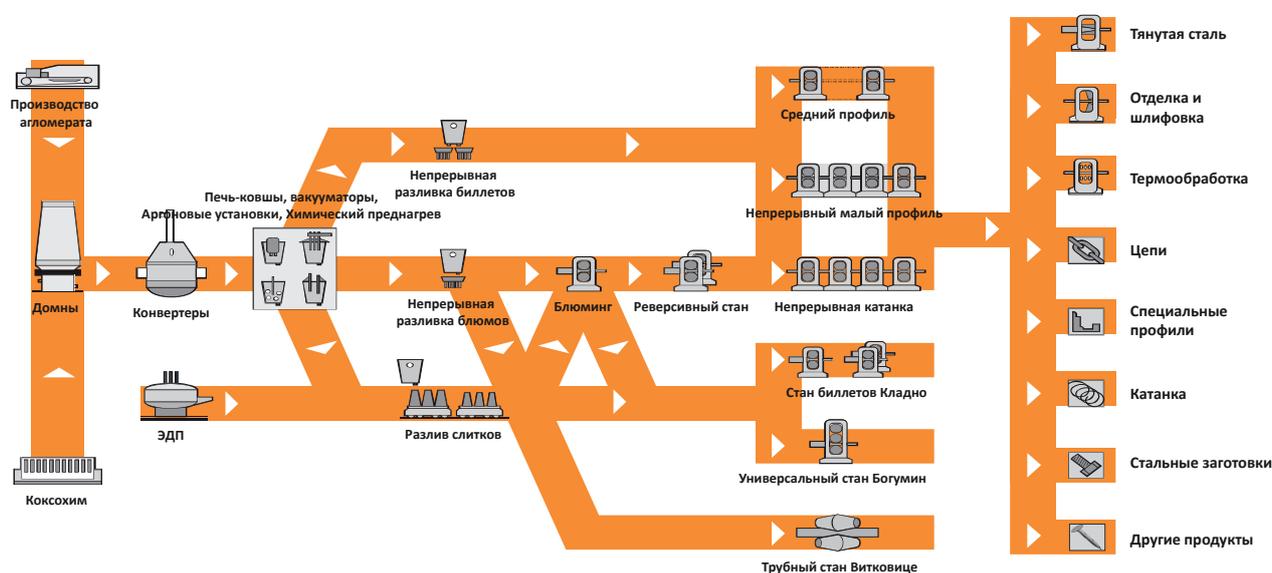


Рис. 87 – Схема цепи поставок Trinecke Zelezarny

При этом сталь производится как конвертерным способом (КЦ – конверторный цех), так и в электросталеплавильных печах (ЭСПЦ – электросталеплавильный цех). Разливка стали осуществляется на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), а также в изложницы. В зависимости от метода разливки и профилиразмера заготовки передаются на станы следующих этапов производства. Как видно из схемы этап выплавки и разливки является ключевым этапом производства. Именно поэтому задача составления расписаний этого этапа является столь важной для компании.

Старый процесс составления расписаний выплавки и разливки был организован следующим образом. Исходные данные для процесса составления расписаний готовили в ручном режиме пять человек, которые на основании запланированных заказов прокатных станов готовили требования по отгрузке заготовок с участка разливки. На основании этих требований специалисты подготавливали расписание выплавки и разливки. Это расписание имело достаточную точность на горизонте 4-7 дней. За этим горизонтом точность расписания существенно снижалась. Составление расписания занимало много времени и требовало значительных усилий. Изменения требований прокатных станов или отклонения по исполнению расписания выплавки и разливки в большинстве случаев приводили к его перерасчету. Часто из-за высокой трудоемкости перерасчет выполнялся, в том числе, по окончании рабочего дня и в выходные дни. Отсутствие детальной информации по требованиям прокатных станов за пределами 1-2-х недельного горизонта значительно снижало эффективность принимаемых планировщиками решений. Также учет на производстве оставлял желать лучшего. В цеховых системах отлеживались только общие объемы производства без разбивки по плавкам (отсутствие учета серийности) и без привязки объемов к конкретным заказам.

В результате всего этого предприятие страдало от высокого уровня незавершенного производства, низкой дисциплиной производства в срок. Логично встал вопрос о реорганизации процесса составления расписаний, повышении его эффективности.

#### *Новый метод составления расписаний выплавки и разливки*

Работами в области разработки новых методов составления расписаний выплавки и разливки часто занимаются сами металлургические предприятия совместно с партнерами. В качестве партнеров выступают научно-исследовательские институты и ведущие поставщики программного обеспечения. Большинство попыток разработать специализированные решения самостоятельно или с помощью партнеров не приносят желаемых результатов или терпят фиаско, несмотря на значительные инвестиции финансовых и людских ресурсов. К основным причинам можно отнести недостаточное

развитие алгоритмов оптимизации и недостаточные аппаратные мощности. Последние достижения в этих областях позволили специалистам компании LOGIS разработать метод и решение, которое дает возможность создавать качественные расписания выплавки и разливки для реального использования их в производственной деятельности крупных сталелитейных предприятий. Основные положения метода формализованы в подразделе 3.5. настоящей работы.

#### *Информационная система составления расписаний*

Разработанный новый метод составления расписаний выплавки и разливки был взят за основу при разработке промышленного решения для чешской производственной компании. Также специалистами чешской компании совместно с проектной командой LOGIS были сформулированы несколько ключевых требований к новому решению.

Для целей сценарного анализа и для отражения изменившихся условий на производственной площадке требуется высокая скорость расчетов расписаний без ущерба для качества.

Ни одна модель, как она не была бы сложна, не может воспроизвести всей сложности реальных физических процессов. Именно поэтому пользователям необходимо предоставить возможность ручных корректировок расписаний. Инструмент должен обладать наглядным интерфейсом для отслеживания влияния ручных корректировок на качество расписаний.

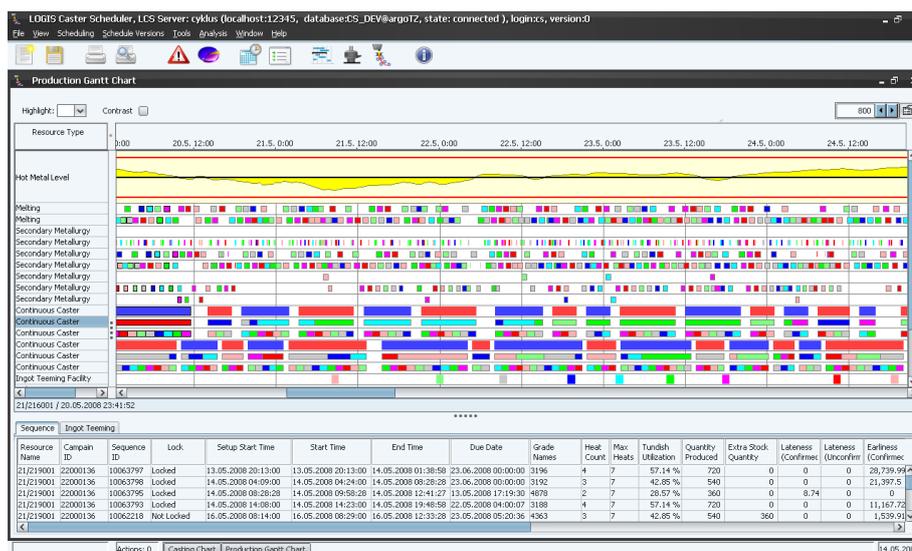
Качество расписаний оценивается на основании набора ключевых показателей эффективности, которые, как правило, соответствуют целям оптимизации. Планировщик должен иметь возможность оперативного просмотра этих ключевых показателей эффективности после каждого перерасчета расписания, внесения ручных корректировок.

Цели оптимизации для составления графиков выплавки и разливки могут иметь различные приоритеты, которые могут изменяться с течением времени. К примеру, когда цены на легирующие материалы высоки, особенно важным становится для металлургического предприятия минимизация разливки более качественных марок сталей. Планировщик должен иметь возможность

настраивать приоритетность каждой из целей оптимизации составления расписаний выплавки и разливки.

Структура активов предприятия изменяется с течением времени: добавляются новые мощности, появляются новые продукты, изменяются коммерческие приоритеты и т. д. Решение по составлению расписаний выплавки и разливки должно позволять планировщикам вносить необходимые изменения в модель без необходимости перепрограммирования. Ограничения в модели должны быть представлены как исходные данные, и добавление или изменение ограничений должно определяться исходным набором данных.

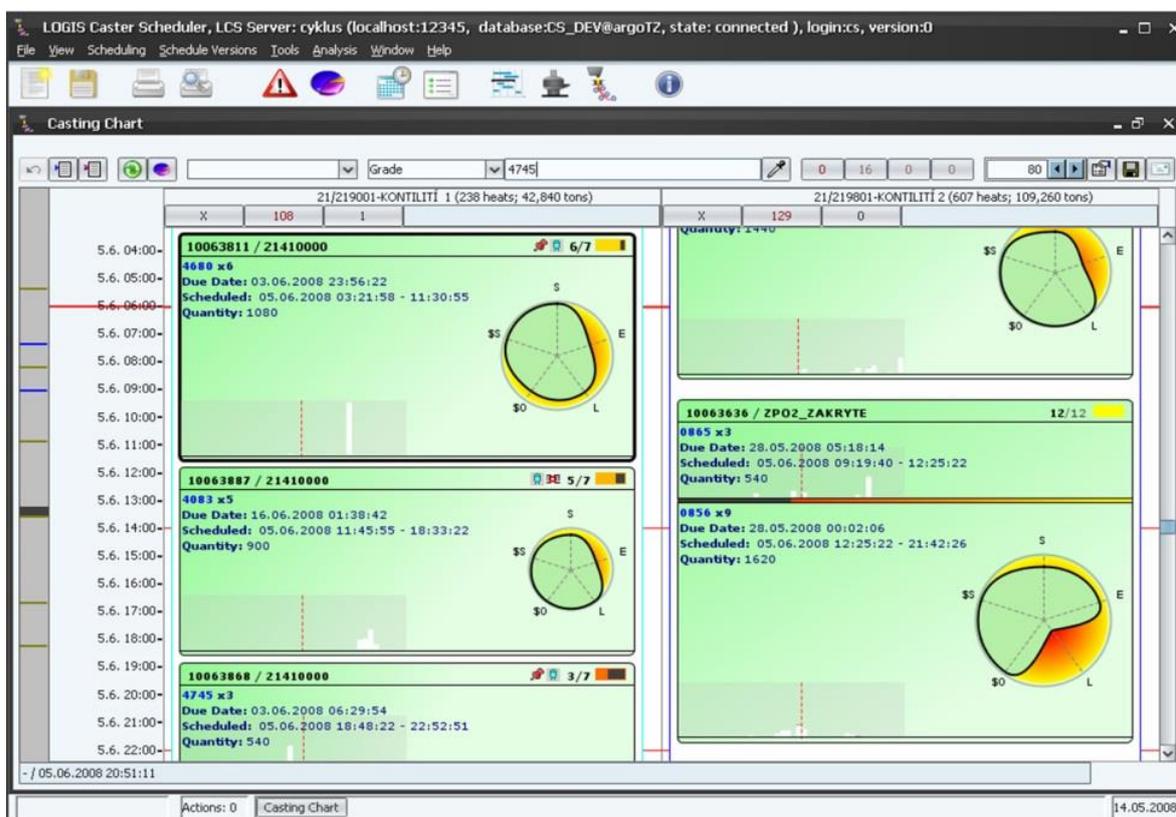
Для реализации описанных выше требований специалистами LOGIS было разработано собственное программное решение. В этом решении, в рамках проекта внедрения, была настроена модель составления выплавки и разливки. Пример интерфейса пользователя с диаграммой Гантта выплавки и разливки приведен на рисунке 88.



**Рис. 88 – Диаграмма Гантта выплавки и разливки**

Для решения сложной проблемы в первую очередь необходимо наглядное ее представление. Представление структур данных, ограничений и расписания само по себе является критичным для удобства работы с приложением. Разработанное решение содержит в себе набор стандартных отчетов для анализа качества расписания, включая представления о коэффициенте использования промежуточного ковша и величине использования более

качественных марок сталей, об объемах производства в запас, о запаздывании и опережении исполнения заказов (рисунок 89).



**Рис. 89 – Представление потока материалов через МНЛЗ**

Решение разработано в программной среде С++ и использует архитектуру, которая подразумевает выполнение всех основных расчетов непосредственно в оперативной памяти компьютера без обращения к жесткому диску, что обеспечивает высокую производительность. Для целей моделирования разработанная система использует настраиваемые алгоритмы Программирования Удовлетворения Ограничений (Constraint Satisfaction Programming – CSP), которые включают в себя, в том числе, линейное и целочисленное программирование, методы поиска на основе ограничений (Constraint-Based Search), эвристику и другие алгоритмы исследования операций.

Основными результатами применения разработанной системы являются:

- значительное ускорение расчетов (расчет занимает минуты вместо часов);

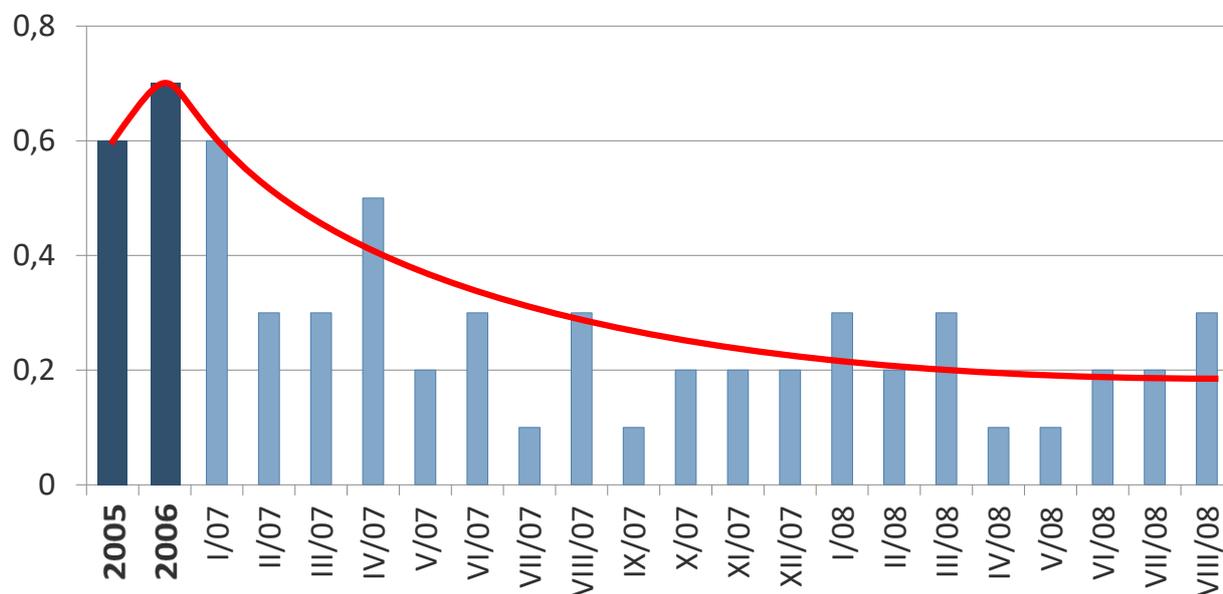
- повышение точности расписаний благодаря учету детальных правил и ограничений выплавки и разливки, применению современных оптимизационных алгоритмов и удобному интерфейсу планировщика для внесения ручных корректировок.

#### *Описание достигнутых результатов*

Благодаря внедрению нового решения у чешского производителя стали процесс составления расписаний выплавки и разливки там претерпел кардинальные изменения. На сегодняшний день требования к участку разливки автоматически генерируются на основании актуального календарного плана производства. Это позволяет планировщику выплавки и разливки работать на полном горизонте календарного производственного плана – вплоть до 4-х месяцев. На текущий момент расписание выплавки и разливки составляется на 40 дней, при этом первые 14 дней горизонта планируются особенно тщательно. Расписание ежедневно обновляется с учетом реальной ситуации на производстве. Наглядность расписаний и расширение горизонта планирования существенно повысили экономическую и технологическую обоснованность принимаемых планировщиками решений.

Результатом внедрения нового процесса стало повышение эффективности как этапов выплавки и разливки в отдельности, так и всего предприятия в целом. Одним из ключевых показателей эффективности сталелитейного производства является недозагрузка промежуточного ковша на МНЛЗ. Улучшению этого показателя сопутствует снижение затрат и повышение производительности участка разливки. Сложность поддержания низких значений показателя недозагрузки промежуточного ковша состоит, прежде всего, в необходимости реализовать большое количество сортов стали со специфическими требованиями к плавке в разрезе конкретных заказов и высокая доля заказов малого объема по сравнению с объемом одной плавки, и тем более по сравнению с объемом всей серии. Этот показатель чешская компания рассчитывает как разницу между теоретическим и планируемым значениями количества плавков в серии для конкретного промежуточного

ковша. При этом значение теоретической серии принимается равной максимально возможной длине серии для рассматриваемой технологии производства. Планируемая серия определяется расписанием выплавки и разливки. Статистика недозагрузки промежуточного ковша на разливке, начиная с 2005 года, приведена на рисунке 90.

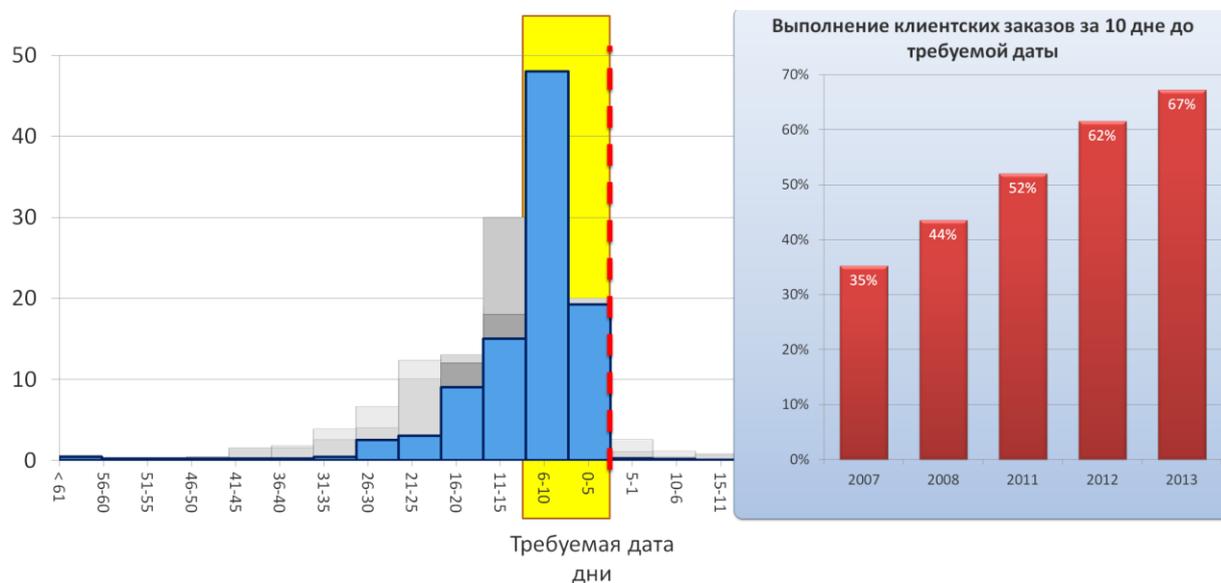


*Рис. 90 – Статистика недозагрузки промежуточного ковша*

В 2007 году с момента ввода системы в промышленную эксплуатацию компании удалось достичь улучшения показателя недозагрузки промежуточного ковша на 60% по сравнению с 2006 годом. Несмотря на кризис в 2008 году, улучшение показателя относительно 2006 года составило более 70%. Следует отметить, что применение специализированного решения в кризисный период позволило компании, используя полученные дополнительные конкурентные преимущества, занять лидирующие позиции на рынке в своем сегменте. Таким образом, эффект от внедрения решения был ощутим даже в сложный период, когда предложение на рынке металлов значительно превышало спрос.

В целом для предприятия интеграция нового процесса составления расписаний выплавки и разливки в процесс планирования удовлетворения заказов оказало существенное влияние на повышение качества клиентского сервиса. В 2007 году компании удалось достичь дисциплины выполнения

заказов с точностью до дня в 91% при поддержании высокой эффективности производства. В дальнейшем этот показатель только улучшался, несмотря на значительное расширение сортамента продукции, увеличения количества разливаемых марок сталей (рисунок 91).



**Рис. 91 – Распределение дат исполнение заказов относительно требуемой даты на 2013 год (источник Trinecke Zelezarny)**

На сегодняшний день дисциплина отгрузок в компании составляет 98,5%. Это является беспрецедентным результатом для производителей стали. Не случайно проект внедрения нового решения по планированию был удостоен ряда международных наград.

#### *Выводы*

Качество расписаний выплавки и разливки оказывает значительное влияние на конкурентные преимущества сталелитейной компании и во многом определяет финансовые показатели ее деятельности. Ограничения, связанные с выплавкой и разливкой, целесообразно рассматривать в рамках процесса оперативного планирования производства и приемки заказов, особенно в случае, если предприятие имеет в сортаменте сотни и тысячи марок сталей.

Предложенный метод и разработанное на его основе программное решение позволяют планировщикам эффективно решать проблему составления качественных расписаний выплавки и разливки в короткие сроки. Этот метод и решение прошли апробацию на ряде международных промышленных

предприятий, доказали свою эффективность и рекомендованы к внедрению на предприятиях рассматриваемого класса.

### **Анализ непрерывных улучшений КПЭ в Trinecke Zelezarny**

В рамках настоящего подраздела анализируется динамика непрерывных улучшений КПЭ в Trinecke Zelezarny благодаря внедрению процессов и систем интегрированного планирования.

В начале нового тысячелетия Trinecke Zelezarny (TZ) приняло решение кардинальным образом изменить свою корпоративную стратегию: сконцентрироваться на высоко конкурентных рынках, в частности, на автомобилестроительной отрасли, и сделать основным сортаментом специальные стали – эта перемена наряду с другими повлекла значительное изменение требований к дисциплине отгрузки компании. В настоящей статье показывается, как принятие новой корпоративной стратегии было поддержано новой информационной системой, основанной на технологиях АСП ЦП (APS).

TZ представляет собой предприятие с полным металлургическим циклом. Сортамент предприятия включает главным образом специальные марки стали (SBQ). Компания работает примерно с 1000-ми марками стали, имеющими различный химический состав. Это подразумевает значительное разнообразие в составе заказов: многие из них небольшого объема с различными требованиями к качеству стали. Типичный клиент компании обычно ожидает высокой дисциплины отгрузки с точностью до дня. Таким образом, процесс управления выполнением заказов в компании TZ очень сложный.

Главными целями для компании в процессе выполнения заказа являются Качество клиентского сервиса и Производственная эффективность (рисунок 92). В действительности эти цели не являются взаимодополняющими. Как раз наоборот, улучшение одной из них может легко привести к ухудшению результатов по другой. Таким образом, достижение улучшения с точки зрения этих двух перспектив в условиях комплексной среды планирования является очень сложной задачей.



*Рис. 92 – Основные цели проекта TZ*

Trinecke Zelezarny была нацелена на реализацию новой корпоративной стратегии и улучшение конкурентоспособности предприятия. Требовалось повысить Дисциплину отгрузки, достичь высоких значений этого показателя при точности обещания выполнения заказов в один день. Это стало ключевым моментом при принятии решения TZ об использовании технологий АСП ЦП для контроля процесса выполнения заказов. Эти технологии стали основой для создания мощной системы планирования предприятия.

Целью настоящего подраздела, однако, не является детальный анализ причин начала проекта, метод выбора поставщика, ход внедрения проекта и достигнутых результатов в первый период после внедрения системы в 2007 году. Обо всем этом уже было написано. Вместо этого будут представлены результаты, которых удалось достигнуть в TZ на долгосрочном горизонте благодаря системе планирования.

Работы по повышению эффективности в компании процесса выполнения заказов с использованием системы планирования не закончились на том, что удалось достигнуть в первый период после внедрения системы. На долгосрочном горизонте команда внедрения пыталась использовать систему планирования в качестве инструмента для непрерывных улучшений. Основные цели остались теми же, просто планка требований поднималась выше и выше с течением времени.

В ходе этих работ измерялся набор параметров, которые использовались для анализа результатов, и на которые ориентировалась компания при постоянном улучшении системы планирования. Для целей настоящей статьи

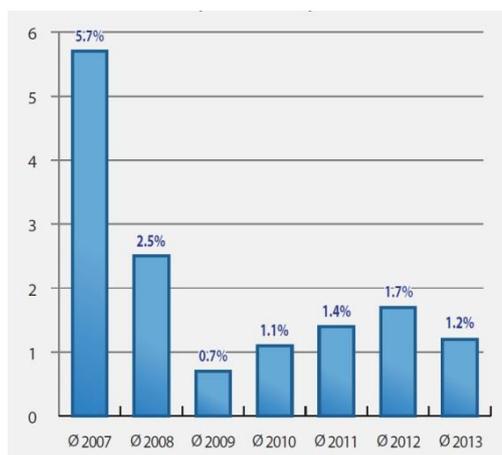
было необходимо выбрать параметры, которые бы хорошо иллюстрировали динамику изменения эффективности процесса выполнения заказов. В связи с тем, что дисциплина отгрузки в TZ всегда была в приоритете, выбор первого репрезентативного показателя был прост. Далее будет продемонстрировано, насколько компании удалось достигнуть цели по снижению объема задержанных заказов в течение нескольких лет. Для иллюстрации улучшения эффективности управления также будет представлена положительная динамика показателя по пропорции заказов, выполненных в течение последних десяти дней до даты обещания.

С экономической точки зрения естественной целью большинства компаний является немедленная отгрузка любого готового продукта для скорейшего покрытия затрат производства. Каждый день пролеживания в запасах готового заказа до согласованной даты отгрузки увеличивает время заморозки финансовых средств предприятия (и компания, таким образом, не может использовать эти средства для других целей), и это без учета того факта, что хранение продукции приводит к дополнительным расходам компании. Идеальная ситуация в этом случае заключается в завершении выполнения и отгрузке заказа точно к обещанной дате.

Однако в связи с наличием ряда ограничений металлургических предприятий (кампании на соответствующих ресурсах, плавки и многое другое) не всегда возможно достигнуть такой идеальной ситуации. Таким образом, сдача заказов может растянуться на некоторый период времени, который может составлять несколько недель для производителей стали. Несмотря на это, ключевая цель TZ в процессе управления выполнением заказов должна заключаться в достижении наибольшей возможной пропорции заказов, выполненных как можно ближе к дате обещания.

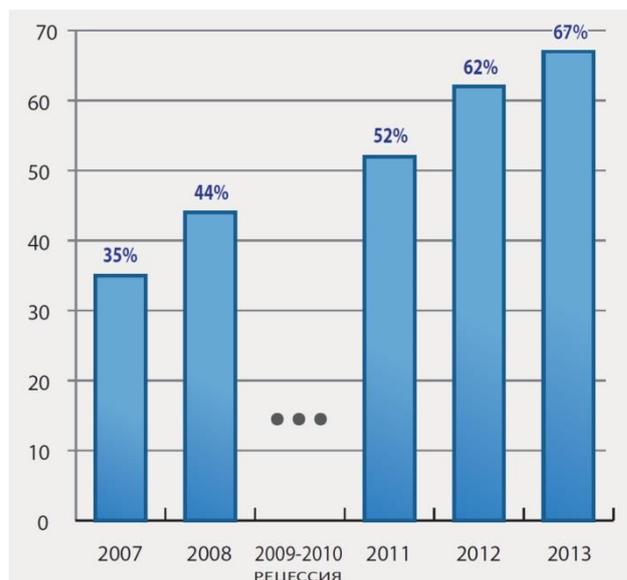
Несколько комментариев к рисунку 93: дисциплина отгрузки выражена с помощью показателя задержанных заказов (таким образом, на данной диаграмме, чем ниже значения, тем лучше достигнутый результат). Следует отметить, что результаты в период с 2009 по 2010 годы приходятся на период относительно серьезного кризиса и не могут рассматриваться как сопоставимые

для проведения сравнительного анализа по годам. Более того, если проанализировать результаты, достигнутые в «обычные» годы с 2011 по 2013, можно прийти к заключению, что эти результаты совсем неплохие. Автору не известна другая подобная металлургическая компания в мире, которая бы обещала выполнение заказов с точностью до одного дня и которая бы достигла подобной дисциплины отгрузки.



**Рис. 93 – Число задержанных заказов (все станы TZ)**

На рисунке 94 представлена доля заказов, выполненных в последние 10 дней до обещанной даты, что демонстрирует результаты улучшения эффективности управления. Кризисные годы 2009 и 2010 не учитываются, так как они могут исказить данные анализа. По данным диаграммы можно сделать вывод о значительном прогрессе в течение анализируемого периода. Имея в начале около 1/3 заказов, выполненных в последние 10 дней перед обещанной датой, к концу периода этот показатель достиг значения 2/3. Достижение этого результата было основано на постепенном улучшении способности TZ использовать систему планирования в качестве основного инструмента управления в процессе выполнения заказов.

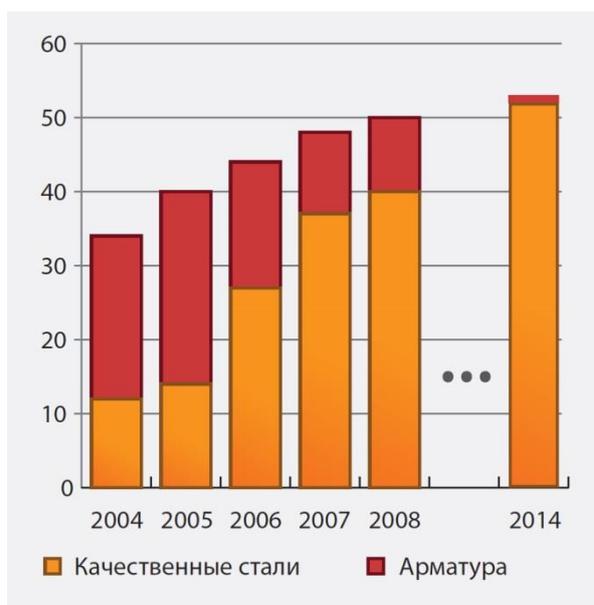


**Рис. 94 – Доля заказов, выполненных в последние 10 дней до обещанной даты**

Оба представленных показателя сами по себе не дают общего представления о ситуации. Они только дают идею об увеличении эффективности управления благодаря этим достигнутым улучшениям. Для того чтобы лучше показать увеличение эффективности управления, выраженное в постепенном улучшении этих параметров (с учетом их взаимосвязи) в дополнении к этим обобщающим диаграммам, мы также представляем набор диаграмм с пояснениями, показывающими динамику завершения заказов во времени относительно их обещанных дат год от года.

Для пояснения условий, в которых эти улучшения были достигнуты, необходимо добавить еще один комментарий о непрерывном увеличении сложности в течение анализируемого периода. Как было отмечено ранее, главная причина для внедрения АСП ЦП была поддержка реализации новой корпоративной стратегии. Здесь следует иметь в виду, что изменения не случаются мгновенно, но идут постепенно. Это хорошо проиллюстрировано на рисунке 95, на котором отображена динамика увеличения процента качественных сталей в сортаменте малого сортового стана на протяжении нескольких лет. Доля качественных сталей тесно связана с увеличением общей сложности производства/процесса выполнения заказов. Таким образом,

достижение улучшений в каждом следующем периоде происходило в еще более сложных условиях.



*Рис. 95 – Доля качественных сталей на стане малых профилей*

Приведенные результаты по постепенным улучшениям демонстрируют тот факт, что хорошая система планирования может дать значительные преимущества для металлургической компании внести вклад в реализацию корпоративной стратегии и повысить конкурентоспособность предприятия. Однако достижение конечного результата это не вся картина изменений. Для того чтобы компания могла также успешно воспользоваться результатами инвестиций в систему планирования как TZ, должны быть выполнены определенные условия. Среди них стоит отметить:

Команда высококлассных специалистов для планирования

Металлургическое предприятие является комплексной системой с множеством ограничений. Очевидно, что система планирования в этом случае также не является чем-то тривиальным. Если участники команды планирования на предприятии намереваются достигнуть высоких результатов, они должны обладать необходимыми знаниями для своей работы. Критически важной возможностью для получения знаний является период внедрения системы планирования. Команда внедрения со стороны бизнеса привносит в проект знание о компании и получает знания о системе планирования, в создании

которой эта команда участвует. Следует отметить, что благодаря проекту команда внедрения углубляет свои знания и о самом бизнесе.

Непрерывные улучшения требуют проактивного подхода от участников проектной команды (это вопрос выбора подходящих людей для команды). Также необходимо использование их знания в новых периодах по максимуму и получение опыта на основании прошлых периодов. Это подчеркивает необходимость обеспечения долгосрочной стабильности команды. Команде TZ повезло. В нее вошли специально отобранные сотрудники, и состав команды серьезно не изменялся на протяжении многих лет.

#### Эффективная, понятная и гибкая система планирования

Даже лучшая команда едва ли достигла выдающихся результатов без использования эффективной системы планирования. Это связано с тем обстоятельством, что модель планирования системы должна воспроизводить реальность предприятия в соответствующих материальных аспектах. Реальность предприятия постоянно эволюционирует и изменяется. Если будет невозможно соответствующим образом отображать эти изменения в системе планирования, результатом ее работы будут не улучшения, но деградация (степень деградации будет соответствовать объему важных изменений, которые не нашли отображения в системе планирования). Таким образом, система планирования не должна быть черным ящиком, но должна быть понятным и постоянно изменяющимся организмом.

#### Хороший уровень постоянной поддержки от поставщика системы планирования

Разработка технологии планирования (программное обеспечение по планированию) является одной из наиболее сложных областей с точки зрения разработки программного обеспечения. Это одна из причин, почему относительно небольшое количество компаний по всему миру занимается разработкой программного обеспечения для планирования металлургических предприятий, и почему еще меньшее количество из них могут предоставить действительно ценные инструменты планирования.

Но только технологий планирования недостаточно. Как было отмечено выше, система планирования должна быть понятным и постоянно эволюционирующим организмом даже после внедрения в промышленную эксплуатацию. Этого сложно достигнуть без сотрудничества с производителем программного обеспечения и компанией, которая осуществляла внедрение системы планирования. Если требуется непрерывно улучшать систему планирования, необходимо удостовериться, что поставщик понимает потребности компании. Поставщик должен быть в постоянном контакте с клиентом для того, чтобы можно было продолжать обсуждать идеи и пожелания вместе с клиентом. И таким образом, это создает необходимое доверие к поставщику для внесения тех изменений, которые компания не может осуществить самостоятельно. Очевидно, что это не может быть сделано без дополнительных затрат. Тем не менее на основании данных о непрерывных улучшениях, которые включены в настоящий материал, становится понятно, что эти затраты оправдывают себя.

#### Изменение мотивации

Изменение процесса заключалось не только в новой технологии планирования, но и в изменении мышления и мотивации людей. В прошлом для TZ было важным достижение максимальных объемов производства. На сегодняшний момент главный приоритет для компании – удовлетворение клиента (и, таким образом, к примеру, минимизация задержанных заказов). Внедрение этих изменений было бы невозможно без новых правил вовлечения сотрудников компании.

Изменение процесса планирования было частью изменения стратегии для всей компании. Концентрация на автомобильной отрасли, прямые поставки конечным клиентам, динамичное развитие ассортимента производимых марок сталей и т. д. – все это требовало более высоких стандартов качества дисциплины отгрузки. У компании не было шанса преуспеть без возможности доставлять продукцию клиентам вовремя. Поэтому команда внедрения сконцентрировалась на дисциплине отгрузки. Это стало главным изменением

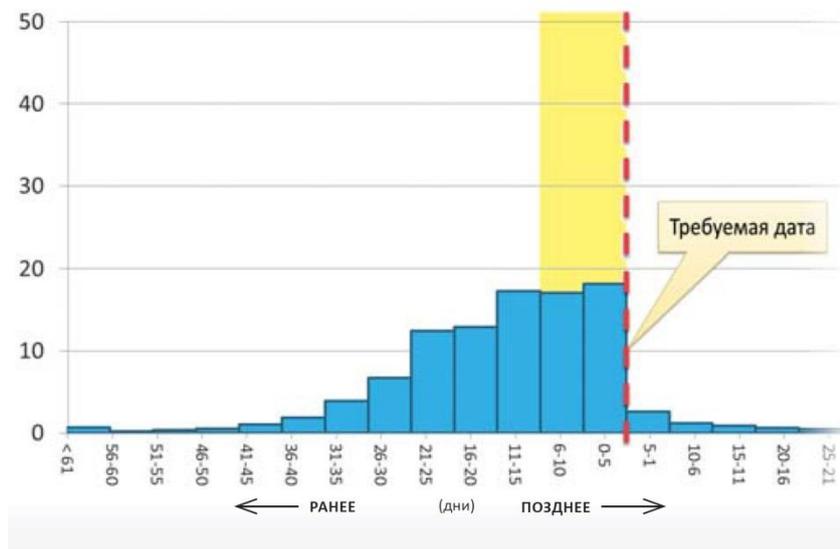
в компании, изменением ее корпоративной культуры, что невозможно достичь без изменения ключевых компетенций.

Но, несмотря на это, производственная эффективность никогда не упускалась из вида. И компании удалось достигнуть успеха в этой области также. Для примера, как видно на графике, иллюстрирующем использование промежуточного ковша для непрерывной разливки (рисунок 98), в TZ значительно улучшили соответствующий показатель уже в 2007 году. И стоит отметить, что даже в сложных условиях в критические годы, в 2009 и в 2010 годах, эффективность была значительно лучше, чем в периоды до начала эксплуатации новой системы планирования.

В настоящей статье обобщаются результаты постепенных улучшений в период с 2007 по 2013 годы. В этот период в TZ прошли изменения в системе управления процессом выполнения заказов. Работа на этом не прекратилась, конечно. Команда внедрения продолжает спрашивать себя, что можно еще улучшить, используя технологию планирования. В дополнении к этому, компания и ее окружение постоянно эволюционируют. Эти изменения влияют на потребности предприятия. Изменение в потребностях создает новые вызовы. Маловероятно, что эти изменения могут стать шаблонными.

### *2007*

Результаты первого года, в рамках которого процесс выполнения заказов поддерживался новой системой планирования, были впечатляющими (они определенно значительно превзошли начальные ожидания). Это был год, в котором в компании были осуществлены фундаментальные изменения в процессе квотирования заказов. TZ переключилась с окна обещания доставки заказов в месяц на квотирование с точностью до дня. В ходе этих изменений была поставлена цель по недопущению падения дисциплины отгрузки ниже 80%. Достигнутый показатель дисциплины отгрузки в 94,3% превысил первоначальные ожидания.



**Рис. 96 – Дисциплина отгрузки в 2007 году**

На рисунке 96 приведена доля завершенных заказов вовремя (%). Ось абсцисс разбита на пятидневные периоды. Можно увидеть, что сдача заказов из производства распределена значительно, особенно на периоде времени 25 дней до обещанной даты отгрузки.

На настоящей диаграмме приведена исходная кривая сдачи заказов, на основании которой возможно проиллюстрировать постепенное, год от года, улучшение возможностей компании по эффективному использованию системы планирования. В то же время, можно также отметить постепенное увеличение объема готовых заказов ближе к обещанной дате и улучшение дисциплины отгрузки клиентам (постепенное, год от года, уменьшение объема задержанных заказов).

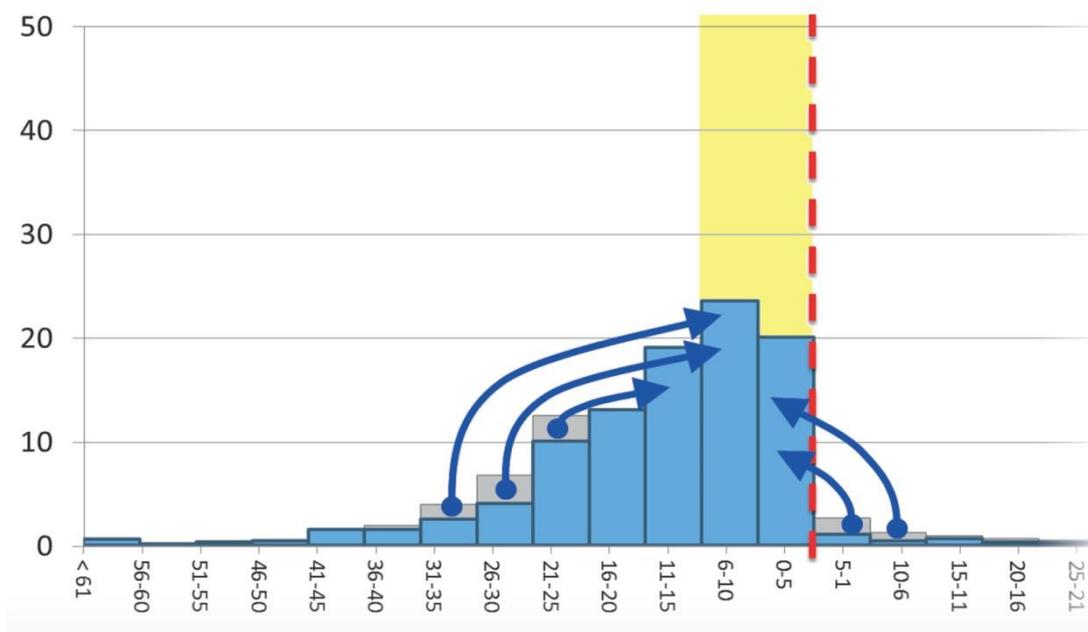
Примечание. Представленные результаты относятся ко второй половине 2007 года. В первой половине еще производился запуск и стабилизация системы планирования предприятия. Данные до 2007 года невозможно использовать для сравнительного анализа, так как они несопоставимы (невозможно определить обещанную дату при точности обещания в целый месяц).

## 2008

Для 2008 года руководство компании определило первостепенную задачу в дальнейшем улучшении дисциплины отгрузки. Этого удалось достигнуть

путем сокращения числа задержанных заказов на 2,5%. При этом, однако, не упускалась из виду производственная эффективность, т. е. область, которая напрямую связана с экономическими показателями деятельности.

Давайте взглянем на рисунок 97. На заднем фоне данных за 2008 год можно увидеть серую кривую выполнения заказов для 2007 года. Из приведенных данных видно, что объем задержанных заказов сократился. Можно фигурально сказать, что в сравнении с предыдущим годом, компании удалось «перенести» сдачу значительного объема задержанных заказов на период до даты обещания (стрелки справа).



**Рис. 97 – Дисциплина отгрузки в 2008**

Подобным образом стрелки слева демонстрируют успешный «перенос» объемов части заказов, произведенных заранее, ближе к дате обещания. Таким образом, можно отметить улучшение дисциплины отгрузки, выраженное в сокращении объемов задержанных заказов и сокращении объемов заказов, сданных значительно раньше срока. Стоит подчеркнуть, что сокращение объема заказов, сданных значительно раньше срока, явилось результатом правильно сконфигурированной системы. Т.е. компания специально не задавалась целью в улучшении этого параметра.

2009 + 2010

В качестве следующего периода для мониторинга прогресса выбран временной отрезок с 2009 по 2010 гг. Для этого была веская причина. Это был период экономического кризиса, который значительно повлиял на производителей стали. Конечно, этот период повлиял на бизнес TZ также. Условия изменились так сильно, что бессмысленно сравнивать ситуацию с предыдущими периодами. Это было бы сравнение несопоставимых данных.

Даже в такой сложный период компания была сконцентрирована на дисциплине отгрузки. Результатом явилось улучшение этого показателя и превышение значения 99%. Эта стратегия окупилась для TZ. Падение объемов заказов для предприятия не был таким глубоким в сравнении с аналогичным падением для всей европейской сталелитейной отрасли. АСП ЦП очень помогла в этот сложный период.

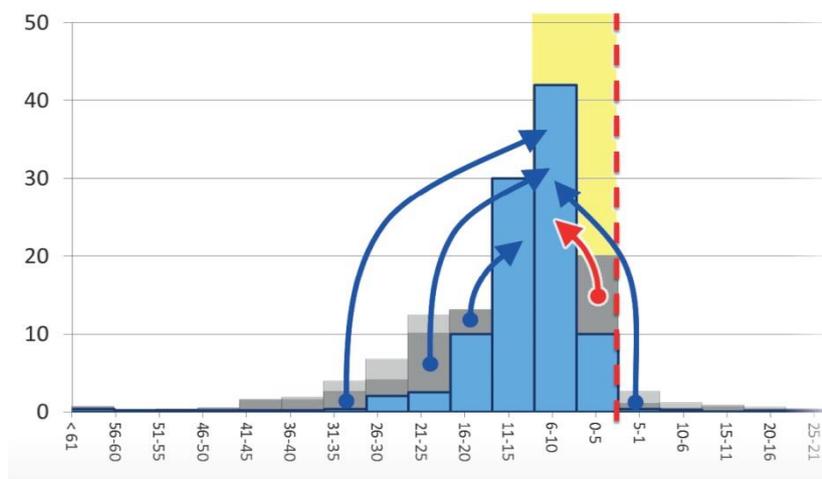
Однако приоритетная цель в достижении самой высокой дисциплины отгрузки не прошла бесследно для производственной эффективности. Здесь приведен пример, иллюстрирующий эффективность загрузки промежуточного ковша в течение его жизненного цикла. Сотрудники сталелитейных предприятий знают, что стоимость промежуточных ковшей достаточно высокая и эффективность их использования отражается в значительной мере на экономических показателях производства стали. Динамика показателя недозагрузки промковша при непрерывной разливке, приведенная на рисунке 98, показывает прогресс в первые годы после внедрения системы планирования в улучшении эффективности загрузки промковшей и, таким образом, в сокращении потерь, связанных с их недозагрузкой (примечание: система планирования была запущена в промышленную эксплуатацию в первой половине 2007 года). Тем не менее можно наблюдать некоторое ухудшение этого показателя в период кризиса по сравнению с предыдущими его значениями (даже с учетом этого ухудшения достигнутые результаты были значительно лучше, чем те, которые были до внедрения АСП ЦП). В этом примере можно отследить взаимосвязь производственной эффективности и дисциплины отгрузки.



*Рис. 98 – Недозагрузка промковшиа при непрерывной разливке*

2011

TZ вернулась к нормальным условиям в 2011 году. Высокий показатель дисциплины отгрузки продолжал оставаться первостепенной целью компании. Следует подчеркнуть, что хорошо настроенная система также имела позитивное влияние на заказы, завершённые раньше срока.



*Рис. 99 – Дисциплина отгрузки в 2011*

TZ смогла еще более уменьшить долю заказов с запаздыванием. Как видно по трем стрелкам слева и одной справа (от столбца 5-1) на рисунке 99, компании также удалось продолжить предыдущий тренд по перемещению заказов, произведенных раньше срока ближе к дате обещания.

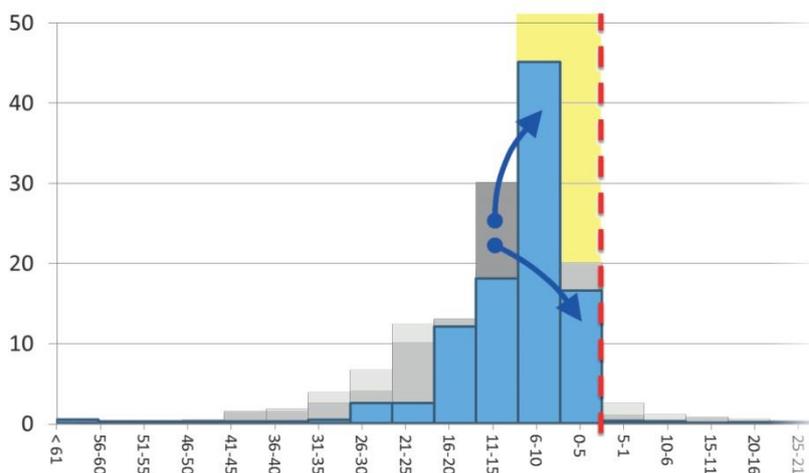
Несмотря на это, в целом дальнейшее увеличение эффективности управления, концентрация TZ на повышении дисциплины отгрузки имела

некоторое негативное влияние. Стрелка от столбца 0-5 показывает, что определенная доля заказов, которая в предыдущие периоды сдавалась в период за пять дней до даты обещания, перенеслась на более ранние сроки. Это стало следствием осторожности. При планировании с максимизацией дисциплины отгрузки планировщики пришли к выводу, что заказы с датой сдачи в пределах пяти дней до даты обещания находятся в зоне повышенного риска задержки заказа в случае даже малейшего сбоя его выполнения.

*2012*

Результаты компании в 2011 году были очень хорошими. Тем не менее имелась возможность дальнейших улучшений.

Особенно это касалось обеспечения еще большей дисциплины отгрузки и дальнейшего увеличения доли заказов, завершенных в период до 10 дней до даты обещания. Рисунок 100 показывает, что TZ добилась успеха в этом. В компании достигли очень низкого уровня задержанных заказов. В дополнение было перемещено завершение относительно большей части заказов, которые раньше завершались в периоде с 11 по 15 дней до даты обещания, в период до 10 дней – до даты обещания.



**Рис. 100 – Дисциплина отгрузки в 2012**

В компании были внесены некоторые изменения в цели планирования. К примеру, была слегка уменьшена целевая преждевременность относительно даты обещания, которая использовалась в планировании как внутренняя рабочая дата, на которую ориентировались при фактической сдаче заказов.

В результате компания добилась увеличения доли заказов, завершенных в пределах пяти дней до даты обещания (до этого в предыдущий 2011 год был показатель, который не устраивал руководство TZ).

Примечание. С точки зрения дисциплины отгрузки результаты в этом году были слегка хуже, чем в предыдущий год. Можно предположить, что это случилось по причине того, что была увеличена доля заказов, завершенных в период до пяти дней до даты обещания и, таким образом, увеличился риск того, что часть заказов стала попадать в категорию задержанных заказов из-за небольших сдвигов в производстве. Конечно, этого нельзя исключать, но ситуация на металлургическом предприятии постоянно изменяется, и при таких небольших объемах задержанных заказов трудно отнести это к влиянию только одного фактора, например, к определенной настройке системы планирования. Этот фактор было решено проверить, анализируя данные следующего года.

### 2013

TZ добилась успехов в 2013 году также (рисунок 101). Компания добилась рекордного значения 98,8% главного показателя – дисциплины отгрузки (в сравнительном анализе не учитываются результаты кризисного периода с 2009 по 2010 годы). Принимая во внимание тот факт, что TZ является производителем специальных марок сталей и то, что компания котирует заказы с точностью до одного дня, это является, безусловно, очень хорошим результатом.

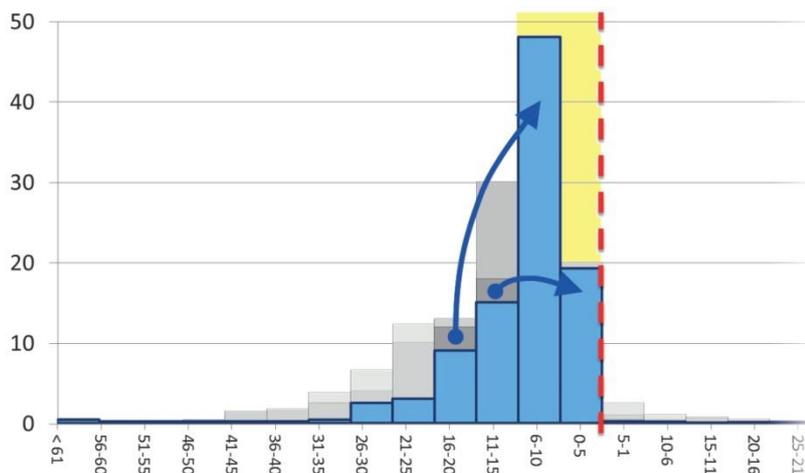


Рис. 101 – Дисциплина отгрузки в 2013

Говоря о датах сдачи, компания смогла переместить определенный объем заказов, которые сдавались в прошлом в периоде за 11-20 дней до даты обещания, в период до 10 дней – до даты обещания. Это говорит о том, что результаты 2013 года также показали увеличение эффективности управления и достижение поставленных бизнес-целей.

### *Заключение*

Проект внедрения новой системы планирования, основанной на технологиях инновационного планирования (АСП ЦП), был реализован в 2005 и в 2006 годах с целью поддержки корпоративной стратегии TZ-концентрация на высоко конкурентных рынках, в частности, на автомобилестроительной отрасли, и переход на специальные стали в качестве основного сортамента. Эта перемена наряду с другими повлекла значительное изменение требований к дисциплине отгрузки компании.

Система планирования была внедрена в промышленную эксплуатацию в первые месяцы 2007 года. Достигнутые результаты в период с 2007 по 2013 годы, представленные в статье, не только оправдали ожидания, но даже превысили их.

Независимая консалтинговая компания (Deloitte), которая осуществляла другие работы в TZ в то время, приняла решение о выдвижении проекта на престижный международный конкурс. Проект «Инновационное Планирование Metallургического Производства в Třinecké Železářny a.s» получил премию Computer World Honors Program за 2007 год в качестве единственного европейского проекта в категории «Промышленность» (Вашингтон, О.К., 04.06.2007).

Система планирования, созданная совместно с LOGIS на базе технологий АСП ЦП (Advanced Planning and Scheduling), стала и остается главным инструментом непрерывных улучшений в TZ.

## 5.7. Реорганизация системы управления POSCO

В рамках настоящего подраздела анализируется опыт внедрения интегрированной системы планирования в компании POSCO. Опыт POSCO интересен с точки зрения комплексного подхода к внедрению интегрированного планирования. Для внедрения интегрированного планирования был выбран один ключевой партнер, и он же являлся производителем программного обеспечения.

В мае 2002 года один из крупнейших мировых производителей в черной металлургии – компания POSCO объявила о получении за шесть месяцев дополнительной прибыли в 249 млн долларов в результате реализации проекта PI (Process Innovation) в области информационных технологий. Проект включал в себя параллельное внедрение Системы управления предприятием (ERP) на базе Oracle E-Business Suite компании Oracle, Системы управления логистической цепочкой (SCM) на базе системы i2 компании i2 Technologies и Системы управления техобслуживанием и ремонтом оборудования на базе системы Maximo компании MRO, а также ряда менее масштабных систем. Проект признан, безусловно, успешным, и на него постоянно ссылаются все вышеперечисленные поставщики решений в области информационных технологий. Ниже делается попытка анализа этого проекта и причин его успеха.

### *Цели проекта*

Корейская компания POSCO, основанная в апреле 1968 года и имеющая заводы в Поханге (Pohang) и Гвангянге (Gwangyang), входит в пятерку крупнейших металлургических компаний мира. В 2002 году оборот компании составил около 9,8 миллиардов долларов, а чистая прибыль – 917 млн. При этом с момента основания компания никогда не работала с убытком, стабильно наращивая производство до 2000 года и сохраняя его в последующие годы в объеме около 28 миллионов тонн стали в год. Таким образом, POSCO можно отнести к числу самых стабильных металлургических компаний. Естественно возникает вопрос, почему компания, не имея серьезных видимых проблем, пошла на такой масштабный IT проект?

В качестве основных внутренних причин начала проекта в презентациях POSCO отмечалось:

- отсталость компании в части использования передовых информационных технологий (Интернет, ERP, SCM);
- смена ориентации на производство ориентацией на покупателя и, соответственно, на повышение уровня клиентского сервиса;
- подготовка к приватизации POSCO.

В числе внешних причин:

- активное внедрение в жизнь цифровой экономики и быстрое движение к установлению всемирных стандартов;
- изменение характера конкуренции: от конкуренции между отдельными производителями к конкуренции их цепочек поставок;
- волна слияний основных конкурентов POSCO.

Решение о начале проекта было принято после выводов, сделанных компанией ISF (Independent Software Provider). Причем руководство POSCO прекрасно понимало и неоднократно подчеркивало впоследствии, что преобразования необходимо производить в период подъема бизнеса в компании, когда компания имеет и средства на проведение преобразований, и время для их проведения. В противном случае с преобразованиями просто можно опоздать.

Состояние общей удовлетворенности часто подводило многие компании. Характерным примером здесь служат производители электроники: из 30 крупнейших в 1985 году компаний к 1995 году 43% вышли из бизнеса, 32% существенно сдали свои позиции, и только одна компания сохранила свое место в десятке.

В основу стратегии PI была положена идея внедрения управления, основанного на создании дополнительной стоимости. Это подразумевало разработку сквозных бизнес-процессов, направленных на взаимодействие с поставщиками и клиентами, изменение корпоративной культуры и

определенные организационные преобразования, а также использование опыта ведущих металлургических компаний мира.

### *Решения*

При выборе решений компании необходимо было учитывать следующие факторы:

- характер индустрии – сочетание непрерывного и дискретного производства;
- свыше 80 тысяч видов готовой продукции, изготавливаемой под заказ;
- сложный производственный процесс, включающий более 1,3 миллиона спецификаций (17 уровней).

Принципиальная позиция компании при создании IT-инфраструктуры заключалась в том, что в каждом классе решений рассматривались только признанные мировые лидеры. Так, при выборе пакета ERP в коротком списке компаний рассматривались SAP и Oracle, и предпочтение было отдано Oracle в силу его лучшей интегрируемости с довольно неоднородной средой бизнес-приложений. В короткий список SCM (на POSCO функциональность называется SCP – Supply Chain Planning) вошли Aspentech, i2, iLog и Manugistics. Здесь выбор был сделан в пользу i2 из-за уникальной металлургической экспертизы компании. В качестве системы управления техобслуживанием и ремонтом оборудования был выбран пакет Maximo. Для интеграции ERP и SCP систем использовалось решение IBM EAI.

Процесс формирования проектной структуры, выбора пакетов ERP и SCP продолжался практически весь 1999 год. В ноябре 1999 года начался процесс внедрения, завершившийся в середине 2001 года. По всем характеристикам это был проект «большого взрыва», в реализации которого приняли участие команды POSCO, POSDATA (системный интегратор POSCO), PWC, Oracle, i2, MRO и IBM. По мнению различных участников проекта, возможность его успешного завершения в такие сжатые сроки определялась в первую очередь особенностями POSCO, а именно железной дисциплиной, характерной для этой компании. Сама компания выделяет следующие ключевые факторы успеха:

- Понимание, что ввод изменений необходим на этапе, когда бизнес успешно развивается:
  - есть возможность для инвестиций;
  - есть время на реализацию инноваций.
- Определение целей преобразований, основанных на бизнес-целях компании:
  - постоянное стремление руководства компании к инновациям;
  - цели, ожидаемые результаты и ключевые показатели эффективности были определены на ранних этапах и постоянно отслеживались.
- Поддержка проекта руководством компании:
  - возможность преобразований такого масштаба во многом определялась поддержкой проекта Генеральным директором;
  - своевременное изменение бизнес-концепции, связанной с переориентацией на покупателя, и проведение преобразований;
  - устранение препятствий на ранних стадиях и быстрое разрешение разногласий;
  - четкое распределение полномочий между ключевыми игроками и членами команды;
  - определение основных задач и отслеживание их выполнения в течение проекта.
- Единая корпоративная политика:
  - консолидация и стандартизация бизнес-процессов и данных по всей компании;
  - максимальное использование стандартных функций систем с минимальным числом доработок;
  - проведение структурированного тестирования в достаточном объеме для обеспечения чистоты данных.
- Активное усвоение и использование самых последних технологических достижений:
  - партнерство с поставщиками бизнес-приложений.

### *Итоги проекта*

В 2000 году POSCO получила максимальную прибыль за всю ее историю – 1 637 миллиардов корейских вон KRW (свыше 1,2 миллиарда долларов), однако уже в 2001 году прибыль сократилась практически вдвое. Собственно, к этому процессу и готовилась компания, начиная в 1999 году проект PI. В итоге тенденция к снижению прибыли сменилась подъемом, что позволило компании увеличить чистую прибыль на 34%. «POSPIA – наша информационная система, представляющая собой интеграцию ERP и SCP, отметила свой первый год в оперативном режиме. Результаты впечатляют. Объем продаж вырос на 5,8%, перекрыв уровень, потерянный в 2001 году, и достиг нового максимума в 11 729 миллиардов KRW. Чистый доход вырос на 34%, составив 1 101 миллиард KRW. Продолжающаяся инновация процессов позволила повысить эффективность и сократить издержки по всему производству, увеличив тем самым значение операционной прибыли с 12,9% до 15,6%» – из годового отчета за 2002 год.

Разумеется, выделить в финансовых достижениях компании за счет POSPIA части, относящиеся к различным бизнес-приложениям, практически невозможно, однако возможно показать влияние ERP и SCP решений на различные показатели эффективности POSCO.

*ERP.* Внедрение Oracle позволило создать единую интегрированную среду, обеспечившую взаимодействие различных бизнес-приложений. К числу ключевых показателей эффективности, относящихся к Oracle можно отнести:

- переход от различных классификаторов в разных подразделениях компании к единому классификатору компании;
- сокращение количества кодов классификации с 193000 до 43500;
- сокращение времени составления бюджета с 110 до 30 дней;
- сокращение срока закрытия квартала с 10 до 3 дней;
- сокращение срока закрытия месяца с 6 до 1 дня.

*SCP (АСП ЦП).* Следующие ключевые показатели эффективности связаны с внедрением SCP на базе i2:

- сокращение цикла совместного планирования продаж и производства с 60 до 15 дней;
- сокращение времени уведомления клиента о приеме заказа с 2-3 часов до 2,5 секунд (это относится к приблизительно 20% заказов, выполняемых POSCO в дополнение к основному портфелю заказов);
- сокращение срока выполнения заказа по горячему прокату с 30 до 14 дней;
- повышение точности выполнения заказа с 10 дней до 1 дня;
- увеличение процента поставок в срок с 82,7 до 97,2%;
- выполнение разных позиций заказа к одной дате для синхронизации отгрузки в порту.

С помощью SCP POSCO реализует свою систему планирования, включающую квартальное планирование с горизонтом в 13 месяцев и ежемесячное планирование с горизонтом в три месяца.

### **5.8. Конфигурирование цепи поставок в СУЭК**

В рамках настоящего подраздела анализируется опыт внедрения системы конфигурирования цепи поставок в компании СУЭК [79,88]. Автор исполнял роль руководителя проекта и архитектора на проекте. В рамках описываемого проекта в СУЭК были реализованы основные положения метода конфигурирования цепи поставок. Несмотря на то, что СУЭК не относится к металлургической отрасли, на стратегическом уровне организация процесса планирования является схожим для промышленных предприятий. С повышением уровня детализации и появления дополнительных ограничений, свойственных промышленным предприятиям, необходимость в специализированных методах и моделях резко возрастает.

Информационные системы поддержки принятия решений, базирующиеся на алгоритмах математического программирования, в частности, линейного и смешанного целочисленного программирования, уже на протяжении многих лет успешно применяются в военной сфере, промышленности, сельском

хозяйстве, транспортной отрасли, финансах, здравоохранении. Ключевыми особенностями данных методов являются: детерминированность; динамичность, оптимальность. На сегодняшний день существует большое количество научно-исследовательских инструментов, профессиональных средств разработки и бизнес-приложений для оптимизационного моделирования цепей поставок промышленных предприятий. Наиболее активно растущим сегментом рынка оптимизационных технологий являются так называемые системы планирования цепей поставок (Supply Chain Planning Systems).

Несмотря на солидный опыт, накопленный в ходе внедрения подобных систем, и впечатляющие показатели окупаемости проектов руководители функциональных подразделений компаний зачастую достаточно пессимистично оценивают перспективы внедрения процессов планирования, ключевым элементом которых является применение методов математического моделирования. Данная ситуация в значительной степени обусловлена двумя факторами:

- 1) предубеждениями и психологической неготовностью персонала компании к изменениям устоявшихся процессов планирования;
- 2) несовершенством информационной инфраструктуры компании, что усложняет сбор и обработку необходимых для моделирования данных.

Опыт показывает, что тщательно спланированные и вовремя проведенные превентивные мероприятия позволяют избежать реализации большинства рисков, связанных с недостаточной проработкой описанных выше двух факторов.

В рамках данного подраздела на примере моделирования логистической сети угольной компании будут проанализированы потенциальные риски проекта по внедрению системы стратегического моделирования цепей поставок, даны рекомендации по их эффективному предупреждению. Следует отметить, что стратегическая модель менее подвержена влиянию специфики промышленного предприятия, в связи с этим опыт моделирования угольной

компания может быть в полной мере перенесен на металлургические предприятия.

Рассматриваемое предприятие – крупнейшее угледобывающее объединение в России, входящее в пятерку по объемам добычи угля на внутреннем рынке и в десятку по объемам поставок на мировом рынке. В состав угольной компании входит более 30 угледобывающих предприятий и более 10 обогатительных фабрик, расположенных в Красноярском, Приморском и Хабаровском краях, Иркутской, Читинской и Кемеровской областях, в Бурятии и Хакасии, где осуществляется открытая и закрытая добыча каменного и бурого угля.

Компания поставляет продукцию во все регионы России десятку тысяч потребителей, включая промышленные предприятия, электростанции, металлургические компании, железнодорожные станции, воинские части, региональные управления и т. д. Доставка угля осуществляется с использованием собственного и привлеченного железнодорожного и автомобильного транспорта.

Отгрузка на экспорт составляет около 50% объемов добытой продукции компании. Доставка экспортным клиентам осуществляется через пограничные переходы железнодорожным транспортом, а также морским путем через западные и восточные порты России и стран СНГ.

Схематическое изображение цепи поставок угольной компании приведено на рисунке 102.

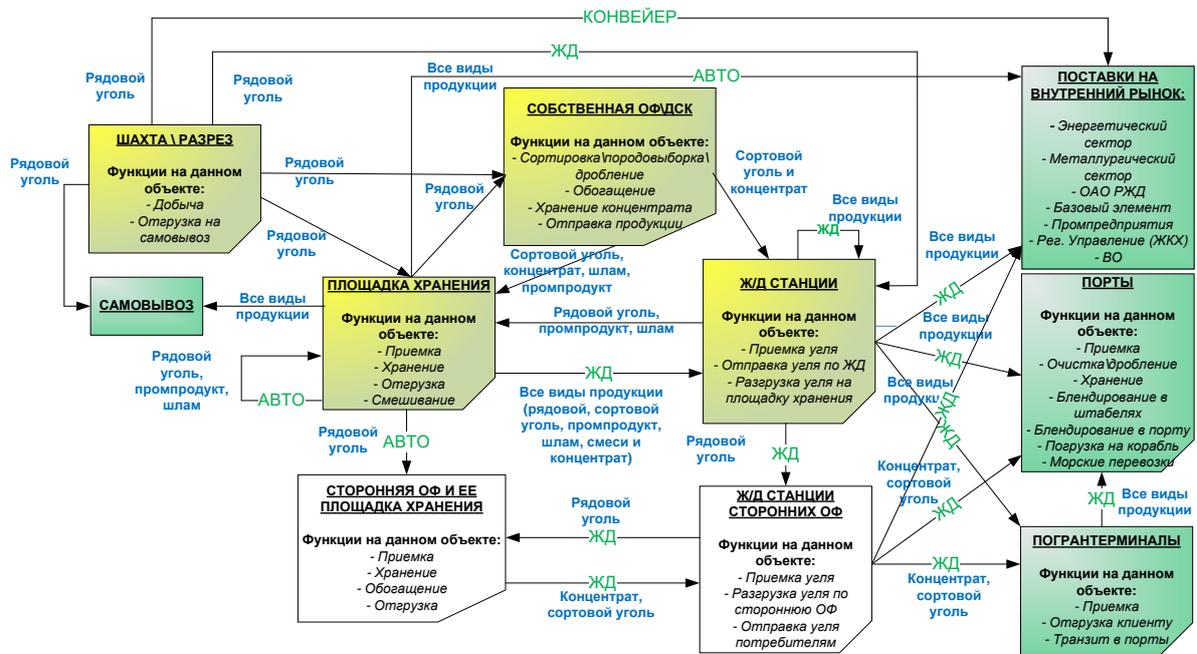


Рис. 102 – Цепь поставок угольной компании

Легенда схематического изображения цепи поставок угольной компании приведена в таблице 23.

Таблица 23

### Легенда

<p><b>Объекты компании</b></p> <p>Функции на данном объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Функция 1</li> <li>- Функция 2</li> </ul>	<p><b>Сторонние объекты</b></p> <p>Функции на данном объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Функция 1</li> <li>- Функция 2</li> </ul>	<p>Основные объекты цепочки поставок: разрезы, шахты, площадки хранения, обогатительные фабрики, железнодорожные станции, пограничные терминалы и порты. Объекты обозначены на диаграмме пятиугольниками. У каждого объекта цепи поставок перечислены ключевые функции.</p> <p>Объекты потребления на диаграмме приведены справа.</p>
<p><b>Объекты потребления</b></p> <p>Функции на данном объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Функция 1</li> <li>- Функция 2</li> </ul>		
<p>→</p>		
<p><b>Рядовой уголь</b></p>		<p>Виды продукции, которая перевозится в направлении перевозки. Виды продукции на диаграмме выделены жирным шрифтом.</p>
<p>ЖД</p>		<p>Виды транспорта, используемого при перевозке. Вид транспорта указан прямо на направлениях перевозки. Подразумевается, что у направлений перевозки, у которых на диаграмме нет вида транспорта, отсутствуют транспортные ограничения.</p>

Потребность в разработке долгосрочной программы развития цепи поставок компании в условиях меняющейся конъюнктуры с учетом сложности материальных потоков предприятия и их масштаба определило необходимость в реализации проекта по внедрению системы стратегического моделирования.

Проанализируем ключевые риски этого проекта, структурированные в соответствии с его пятью основными этапами:

- 1) формализация исходной проблемы;
- 2) сбор данных;
- 3) построение базовой модели и проверка ее адекватности;
- 4) сценарный анализ.
- 5) разработка рекомендаций.

#### *Формализация исходной проблемы*

На данном этапе команда аналитиков проводит исследование той предметной области, где возникла проблема. В результате исследований должны быть определены и описаны следующие принципиальные элементы решаемой задачи:

1. Возможные альтернативы в логистической цепи. Пример: возможности производства продукции на аналогичном оборудовании, доставка продукции различными видами транспорта (железнодорожный, автомобильный, морской).

2. Целевая функция оптимизации для решаемой проблемы. Т.е. основной критерий, набор критериев по которому(ым) происходит решение оптимизационной задачи. Пример: максимизация маржинальной прибыли, максимизация удовлетворения спроса приоритетных клиентов, максимизация загрузки оборудования, минимизация запасов.

3. Система ограничений, налагаемых на возможные решения. Пример: логистические и финансовые ограничения.

Ключевым фактором успеха на данном этапе является максимальное участие экспертов заказчика в постановке задачи. Однако степень вовлеченности экспертов и форма их участия могут существенно варьироваться в зависимости от ряда факторов.

Как правило, первое, с чем приходится сталкиваться группе внедрения, это недоверие бизнес-пользователей к оптимизационным технологиям. Оно возникает из-за изначально неверного предположения о том, что информационная система в конечном итоге полностью заменит экспертов в процессе планирования, сведя их функции к простому вводу данных. Это является заблуждением, и его необходимо развеять уже на раннем этапе внедрения системы стратегического моделирования. Устранение недоверия к оптимизационным технологиям и практическое ознакомление с ними бизнес-пользователей позволит наладить эффективное взаимодействие между участниками проектной команды.

Решение реальных задач по оптимизации цепей поставок на этапе внедрения является результатом коллективной работы, когда заказчики и аналитики работают бок о бок. Аналитикам, имеющим представление о возможностях математического моделирования, необходимы опыт и знание реальной ситуации, которыми обладает клиент, для которого, собственно, и решается задача оптимизации. В свою очередь, опыт и знания аналитиков требуются бизнес-пользователям на этапах сценарного анализа для объяснения результатов оптимизации, так как не всегда на первых порах оптимальные решения могут быть интуитивно понятны бизнесу. Кроме того, они могут противоречить принятым стереотипам в компании.

Следует отметить, что новый бизнес-процесс, выстраиваемый в компании, зачастую может в корне отличаться от существующих процедур планирования. Изменения могут касаться количества участников процесса, сроков предоставления данных, порядка и методов верификации стратегических сценариев.

К примеру, в рассматриваемой угольной компании горизонт стратегического планирования был расширен с 5 до 20 лет. В ходе моделирования ключевые макропараметры (курс валюты, индекс роста железнодорожных тарифов и т. п.) в условиях стремительно меняющейся конъюнктуры изменялись несколько раз, что не мог позволить себе старый бизнес-процесс из-за длительности перепланирования.

В разработке и верификации модели логистической сети активное участие принял финансовый департамент, т. к. ключевым преимуществом нового процесса планирования стала возможность сквозной оптимизации цепи поставок с учетом логистических и финансовых ограничений. Ранее финансовые результаты стратегических планов рассчитывали только после утверждения объемов добычи и перевозки, и компания зачастую упускала прибыль вследствие неоптимальной балансировки спроса и предложения.

Изменения в практике планирования потребовали разработки и проведения ряда подготовительных обучающих мероприятий, в рамках которых бизнес-пользователи осваивали новые для себя обязанности. Своевременная трансляция преимуществ новой концепции планирования до ключевых участников проекта, согласование с ними поэтапного плана перехода к новым процедурам позволили избежать неприятия и сопротивления новшествам со стороны персонала компании-заказчика.

Основной вывод в отношении первого этапа проекта может звучать следующим образом: предварительное обучение ключевых бизнес-пользователей методологии оптимизации цепей поставок и их максимальное привлечение к разработке концепции реализации проекта позволяют существенно упростить процесс создания модели и, самое главное, получить на заключительном этапе заранее прогнозируемый результат в виде оптимального и исполнимого плана цепи поставок.

### *Сбор данных*

Следующий этап – это формирование на основе предварительного концептуального дизайна решения, разработанного на этапе формализации проблемы, требований к структуре и формату представления данных, необходимых для создания модели логистической цепи. После утверждения форматов специалисты заказчика в соответствии с календарным планом приступают к процессу сбора данных.

Мероприятиям по сбору данных должна предшествовать разработка методов агрегации объектов модели. Необходимость агрегации (группировка товара, укрупнение объектов цепи и процессов) обусловлена, во-первых,

нежелательностью излишнего детализирования информации для стратегического планирования, во-вторых – соображениями экономии ресурсов при сборе данных, в-третьих – техническими ограничениями аппаратного обеспечения.

При разработке подходов к определению степени детализации логистических объектов цепи поставок угольной компании проектная группа придерживалась следующего принципа декомпозиции. Объект (склад, производство, производственный ресурс) обозначался отдельной сущностью в модели цепи поставок в случае, если он:

1) являлся критическим ресурсом с точки зрения ограничений или имел характеристики, по которым было необходимо готовить отчетность в рамках процесса планирования;

2) имел альтернативные каналы поставки;

3) имел альтернативные источники снабжения;

4) мог накапливать запасы.

Разработка продуктовых групп велась с учетом следующих факторов:

– степень детализации объектов логистической цепи и ключевые характеристики данных объектов в привязке к продуктам (производительность ресурсов, выход годного продукта, стоимость производственных и логистических операций);

– значение ключевых характеристик продуктов (цена реализации, объемные и весовые параметры и пр.).

Алгоритм определения уровня детализации объектов модели описан в подразделе 3.1. – «Формализация метода и критериев определения уровня детализации объектов и материалов модели цепи поставок».

Благодаря разработанному методу и критериям определения уровня детализации объектов модели цепи поставок удалось автоматизировать данное направление, сделать его динамически адаптируемым. Возможности по динамической адаптации структуры и детализации модели обеспечили повышение качества планирования, адаптацию модели к меняющимся внутренним и внешним условиям.

Необходимо отметить, что форматы запросов в структурные подразделения и форматы консолидированных данных для загрузки в используемое программное обеспечение могут значительно отличаться. Проектная группа может пойти на это с той целью, чтобы упростить процесс подготовки данных специалистами структурных подразделений. Тем не менее функции консолидации и контроля корректности собираемых данных должны возлагаться на ответственное лицо, представляющее заказчика.

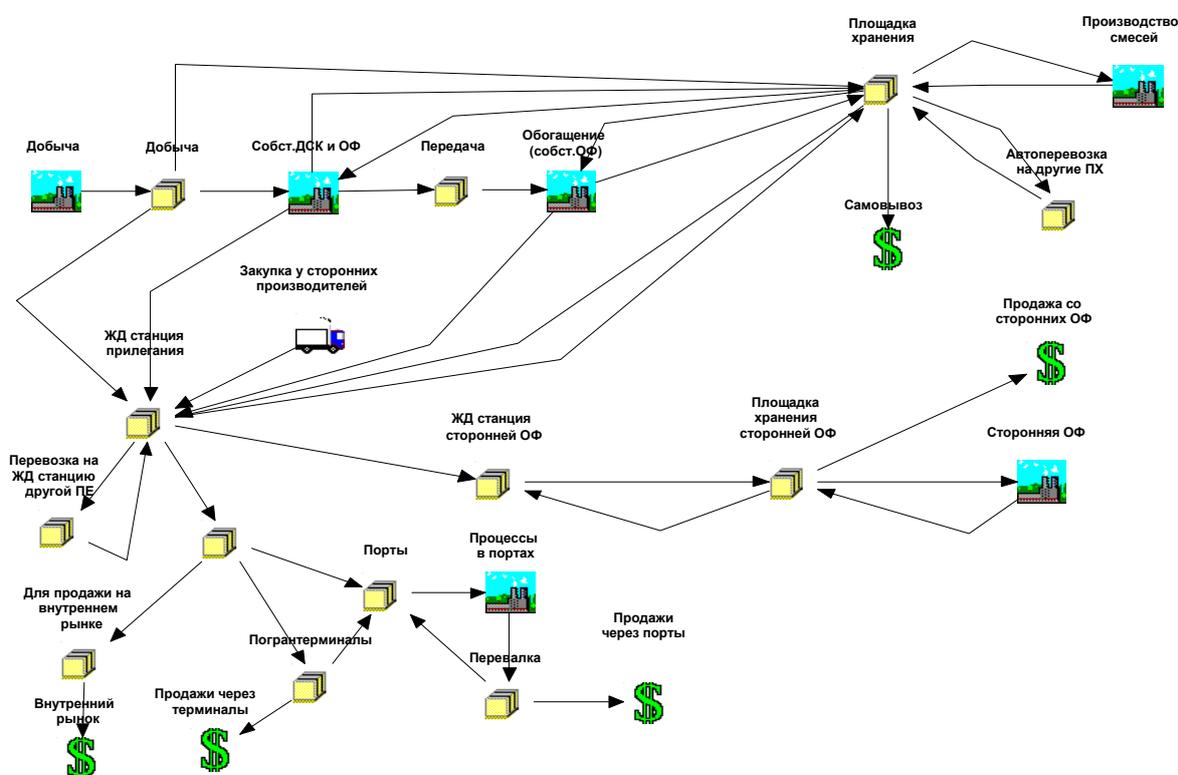
Для угольной компании, к примеру, были разработаны специальные шаблоны данных в Excel, формат которых в наибольшей степени воспроизводит формат внутренней отчетности структурных подразделений. Для консолидации данных был назначен специалист, который впоследствии полностью взял на себя роль планировщика. Непосредственное участие этого специалиста в сборе данных, а затем в загрузке их в систему стратегического моделирования позволило значительно упростить процесс передачи знаний и свести развернутый курс обучения работе с программным продуктом к семинару типа «вопрос – ответ».

Относительно второго этапа проекта можно сделать следующие выводы:

- своевременное согласование принципов агрегации позволяет значительно сократить объем работ, связанных с приведением собранной информации к унифицированному виду, а также избавляет от необходимости направлять повторные запросы по поводу недостающих данных;
- формирование предварительного запроса информации, необходимой для моделирования, позволяет заранее определить недостающие данные и спланировать мероприятия по их получению;
- использование специализированных шаблонов запросов облегчает сбор данных в структурных подразделениях компании.

### *Построение базовой модели и проверка ее адекватности*

В рамках задачи по построению базовой модели специалисты исполнителя осуществляют непосредственную загрузку собранной на втором этапе информации в базу данных оптимизатора. После этого проводится моделирование цепи поставок на определенном временном промежутке. Сравнительный анализ результатов моделирования и имеющихся результатов реальной деятельности компании за исследуемый период является основой для оценки адекватности модели. На рисунке 103 приведен пример графического представления базовой модели цепи поставок угольной компании в специализированном программном продукте.



**Рис. 103 – Диаграмма материальных потоков цепи поставок угольной компании в специализированном инструментарии**

Процедура загрузки носит чисто технический характер. В ходе нее выявляют и исправляют ошибки, связанные со ссылочной целостностью данных. Наличие подобных ошибок объясняется тем, что в целях экономии времени бизнес-пользователи в качестве наиболее удобного и привычного средства ввода данных в большинстве случаев используют электронные

таблицы, не обладающие встроенными механизмами проверки ссылочной целостности.

В рамках реализации проекта в угольной компании после окончательного утверждения шаблонов данных специалисты проектной группы разработали процедуры трансформации, позволяющие импортировать информацию из электронных таблиц в нормализованные таблицы базы данных оптимизатора. Помимо импорта данных в процессе конвертации процедуры предусматривали осуществление ряда операций по автоматической генерации дополнительных сущностей, что избавило планировщиков от необходимости рутинного ввода повторяющейся информации.

Отдельного упоминания заслуживает метод проверки адекватности модели. Как уже было сказано, общепринятым методом проверки адекватности модели является сравнение полученного решения с уже имеющимися результатами деятельности реальной цепи поставок. Модель считается адекватной, если при определенных начальных условиях полученные с ее помощью результаты совпадают с результатами деятельности компании при тех же начальных условиях. Между тем иногда не представляется возможным сравнить модель с реальной системой (например, из-за отсутствия таких данных).

В этой ситуации специалистам команды внедрения следует на экспертной основе оценить реалистичность решения модели, т. е. убедиться, что решение, полученное в рамках построенной модели, имеет смысл и интуитивно приемлемо.

При разработке концепции модели логистической цепи угольной компании были введены упрощения, которые не позволили производить прямое сравнение результатов моделирования с реальными результатами деятельности компании (к примеру, в стратегической модели не учитывался собственный вагонный парк, что отражалось на результирующих транспортных затратах). Данные упрощения привели к необходимости определения не четких значений целевых нормативов, а скорее их диапазонов (по затратам,

прибыльности), которые должна была продемонстрировать модель в рамках процедуры проверки адекватности.

Основной вывод в данном случае звучит так: ключевые задачи, определяющие успех третьего этапа, это разработка интегральных нормативов – стратегических показателей, по которым будет производиться оценка адекватности модели и определение целевых доверительных интервалов для каждого норматива.

### *Сценарный анализ*

Цель четвертого этапа проекта – моделирование различных сценариев будущего развития логистической цепи поставок. Основными задачами данного этапа являются формализация сценариев в виде технического задания и расчет планов в системе стратегического моделирования.

Примерный перечень сценариев моделирования составляют еще на этапе формализации проблемы. На четвертом этапе происходит их окончательное согласование и утверждение. Причина, по которой целесообразно осуществлять данные процессы на завершающих этапах проекта, заключается в степени зрелости экспертов как со стороны заказчика (понимание принципов работы системы и логики принятия решений), так и со стороны исполнителя (более глубокое понимание специфики конкретного бизнеса).

Возвращаясь к примеру угольной компании, отметим, что эксперты формулировали каждый новый сценарий после обсуждения результатов моделирования предыдущего. Данный подход позволил значительно увеличить ценность результатов моделирования для компании-заказчика, а также избавил исполнителя от необходимости просчитывать «устаревшие» сценарии, постановка задач на которые осуществлялась еще на этапе формализации проблемы.

Необходимость проверки результатов сценарного моделирования налагает дополнительные требования к соответствующей отчетности. Как правило, системы стратегического моделирования обладают встроенными модулями составления отчетов. Однако данные модули не всегда позволяют представить результаты моделирования в привычной для экспертов форме.

Именно поэтому наряду со встроенными средствами визуализации данных рекомендуется использовать специализированные инструменты построения отчетности – Business Intelligence.

Специалисты компании-заказчика при поддержке проектной группы компании-исполнителя разработали под нужды финансового и производственного департаментов угольной компании специализированные отчеты, которые отвечали специфичным требованиям этих подразделений. Разработка отчетов с помощью специализированных инструментов производилась специалистами заказчика, так как это позволило им впоследствии уже без консультаций со стороны аналитиков исполнителя осуществлять поддержку существующих отчетов и производить разработку новых.

Таким образом, в отношении четвертого этапа можно сделать следующие выводы:

- последовательная формализация сценариев на заключительных этапах проекта позволяет увеличить ценность результатов моделирования для заказчика, при этом исчезает необходимость просчитывать «устаревшие» сценарии;
- использование дополнительного инструментария для визуализации данных наряду со встроенными модулями отчетности позволяет значительно увеличить наглядность результатов моделирования, сократить время, которое необходимо заказчику для оценки полученных планов.

#### *Разработка рекомендаций*

На заключительном этапе проекта результаты моделирования должны быть преобразованы в конкретные рекомендации, касающиеся стратегии развития цепи поставок компании. Эти рекомендации необходимо представить в форме, понятной для лиц, принимающих решения.

Основной задачей проектной команды при разработке окончательных рекомендаций является обучение участников процесса подходу, предусматривающему совместное планирование деятельности в рамках цепи

поставок. Эксперты интерпретируют, с экономической точки зрения, выявленные на этапе формирования сценариев противоречия между функциональными подразделениями и предлагают к обсуждению различные варианты решения спорных вопросов. На данном этапе необходимо попытаться полностью переложить функции по интерпретации и анализу результатов на специалистов заказчика, т. к. они, во-первых, хорошо знают предметную область, а во-вторых, к этому моменту должны в полной мере понимать принципы работы системы и логику принятия решений. Как правило, исполнитель на этом этапе выполняет только консультационные и поддерживающие функции.

Защита стратегических планов для 5-ти и 20-летних моделей в угольной компании выносилась на совещания функциональных подразделений, в рамках которых обсуждались спорные вопросы между такими ключевыми структурными подразделениями, как финансовый, коммерческий и производственный департаменты. Наличие модели, которая наглядно отражала существующую логистическую цепь со всеми имеющимися ограничениями, и результатов расчетов сценариев избавляло стороны от необходимости детально разъяснять свою позицию и позволяло перейти непосредственно к обсуждению вариантов разрешения спорных вопросов. В конечном итоге согласованные сценарии были представлены генеральному директору для утверждения окончательной стратегии развития цепи поставок.

Основной вывод может звучать следующим образом: использование предложенного в настоящей работе подхода позволяет значительно сократить цикл выработки стратегических решений, поскольку все противоречия между функциональными подразделениями и варианты их устранения формализуют и оценивают с экономической точки зрения заранее, а руководству компании представляют на утверждение уже согласованный набор решений.

#### *Выводы*

Для успешного внедрения систем стратегического моделирования цепи поставок руководители проектов должны придерживаться следующих рекомендаций:

1) необходимо привлечь достаточное количество сторонников из числа ключевых бизнес-экспертов, т. к. степень их участия в определении концепции модели, а затем и в анализе результатов сценарного моделирования во многом будет определять успех проекта как для заказчика, так и для исполнителя;

2) следует предварительно сформулировать требования к данным и согласовать подходы по агрегации объектов модели цепи поставок, это позволит заранее принять меры по сбору недостающей информации и сократить количество повторных запросов.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что разработка стратегической модели логистической цепи в значительной мере является искусством, а не наукой, поэтому успех проекта в большей степени зависит от творчества и опыта команды, нежели от применяемого инструмента оптимизации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе исследованы проблемы интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий на примере комплексов черной металлургии. В числе этих проблем: отсутствие универсально принятой терминологии и соответствующей модели бизнес-процессов управления цепями поставок, необходимость адаптации и развития соответствующих моделей под потребности конкретных отраслей. Выявлена необходимость систематизации и развития методологии интегрированного планирования, определяющаяся потребностью ее применения для обеспечения конкурентоспособности российских металлургических компаний в условиях жесткой борьбы на мировом рынке.

Основные результаты научного исследования состоят в следующем:

1. Разработаны основные положения подхода к интегрированному планированию цепей поставок промышленных предприятий с учетом: реорганизации связей существующих процессов планирования в соответствии с лучшими практиками в металлургии и стандартными моделями SCOR и GSCF; консолидации моделей CCOR, SCOR и DCOR в единой системе процессов планирования цепей поставок; уточнения шагов процессов планирования и ввода дополнительных.

2. Разработаны следующие процессные модели интегрированного планирования цепей поставок предприятий черной металлургии: прогнозирование спроса; конфигурирование цепи поставок; тактическое планирование цепи поставок на основе интегрированной модели; управление обещаниями в части подтверждения даты отгрузки в процессе приемки заказов клиентов на основании актуальной модели цепи поставок промышленного предприятия, что позволяет повысить точность первоначальной даты обещания исполнения заказа; оперативное планирование на базе системы планирования нового поколения.

3. Разработана общая процедура прогнозирования на основании контроля исключительных ситуаций, которая позволяет повысить качество планирования

за счет сокращения рутинных операций, предоставления большего времени аналитикам для интеллектуальной работы. Систематизирован перечень исключительных ситуаций с определением правил их оценки.

4. Формализован метод и критерии определения уровня детализации объектов и материалов модели цепи поставок, позволяющие систематизировать процесс создания интегрированных моделей цепей поставок промышленных предприятий.

5. Определен алгоритм оптимальной балансировки спроса и предложения в цепях поставок промышленных предприятий на основе метода интерактивной послойной оптимизации, который позволяет резервировать логистические мощности для приоритетных заказов и осуществлять оптимальное распределение оставшихся мощностей между другими заказами.

6. Разработан метод оперативного планирования на основе организации процесса независимого планирования различных этапов производства в параллельном режиме, позволяющий исключить ситуации непреднамеренного и невозвратимого удаления предложений разных планировщиков.

7. Определены основные положения алгоритма составления расписаний выплавки и разливки на основе шести ключевых конкурирующих целей оптимизации, позволяющего повысить эффективность управления сталеплавильным производством.

8. Разработана концепция многопользовательской системы планирования с распределенной рабочей областью, которая позволяет осуществлять систематическое разрешение возникающих конфликтных ситуаций между решениями планировщиков цепи поставок без потери какой-либо информации.

9. На основании сравнительного анализа инструментов информационной поддержки интегрированного планирования определены ключевые особенности, позволяющие классифицировать новое поколение систем, и предложено новое определение для этого класса систем.

Результаты исследования нашли свое применение при разработке моделей и программно-математических инструментариев, которые внедрены в промышленную эксплуатацию на российских предприятиях

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ЗАО «Объединенная металлургическая компания», ОАО «Северсталь», ОАО «Мечел», ПАО «Корпорация ВСПО-АВИСМА», а также в международных компаниях TimkenSteel (США), Trinecke Zelezarny (Чехия).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С.А. Лекции о сложности алгоритмов / С.А. Абрамов. – М.:МЦНМО, 2012. – 248 с.
2. Акимов Д.А. Внедрение систем ERP-класса для поддержки интегрированной логистики и управления цепями поставок торговых компаний / Д.А. Акимов, В.И. Сергеев // Логистика сегодня. – 2008. – № 4. – С. 234.
3. Бауэрсокс Д.Дж. Логистика. Интегрированная цепь поставок. / Д.Дж. Бауэрсокс, Д.Дж. Клосс. – М.: Изд-во ЗАО «ОЛИМП-БИЗНЕС», 2001. – 640 с.
4. Белохвостиков А.В. Опыт развития систем управления цепочками поставок в ОМК / А.В. Белохвостиков // Металлоснабжение и сбыт. – 2010. – № 10. – С. 86.
5. Белохвостиков А.В. Особенности управления цепочками поставок в динамичных условиях металлургического рынка / А.В. Белохвостиков, М.Дж. Хилбрик // Металлоснабжение и сбыт. – 2009. – № 10. – С. 88.
6. Белохвостиков А.Ю. Управление цепочками поставок металлургического холдинга. Российский опыт [Электронный ресурс] / А.Ю. Белохвостиков. – Режим доступа: [http://www.remmag.ru/admin/upload\\_data/remmag/10-6/ОМК.pdf](http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/10-6/ОМК.pdf).
7. Бережная Е.В. Математические методы моделирования экономических систем / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Финансы и Статистика, 2006. – 432 с.
8. Бочкарев А.А. Автоматизация планирования и моделирования цепи поставок : монография / А.А. Бочкарев. – СПб.: СПбГИЭУ, 2008. – 291 с.
9. Бочкарев А.А. Интегрированные модели цепи поставок / А.А. Бочкарев, И.В. Кирина // Логистика сегодня. – 2006. – №6 (18). – С. 344-359.
10. Бочкарев А.А. Планирование и моделирование цепи поставок: учебно-практическое пособие / А.А. Бочкарев. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2008. – 192 с.

11. Бочкарев А.А. Применение оптимизационного моделирования для стратегического планирования цепи поставок / А.А. Бочкарев, И.В. Кирина // Вестник ИНЖЭКОНА: Серия «Экономика». – 2006. – Вып. 4 (13). – С. 173-183.
12. Будлянская Д.Д., Обучающийся стратегический альянс как организационная форма создания нового знания для повышения конкурентоспособности металлургических компаний / Д.Д. Будлянская, Д.В. Вышегородский // Вопросы Управления УИУ – филиал РАНХиГС. – 2013. – № 1.
13. Буланов Л.В. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет /Л.В. Буланов, Л.Г. Корзунин, Е.П. Парфенов.– Екатеринбург:Уральский центр ПР и рекламы – «Марат», 2004. – 319 с.
14. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 206 с.
15. Внедрение системы управления цепочками поставок на ОАО «Северсталь» [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.rmo.ru/ru/moborudovanie/nmoborudovanie/2006-2/82\\_84\\_ota\\_02\\_06.pdf](http://www.rmo.ru/ru/moborudovanie/nmoborudovanie/2006-2/82_84_ota_02_06.pdf).
16. ВСМПО-АВИСМА запускает новую систему планирования производства [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/90077>.
17. Вышегородский Д.В. Стратегические альянсы как возможность укрепления конкурентоспособности компаний черной металлургии/ Д.В. Вышегородский // Вопросы Управления. УИУ – филиал РАНХиГС. – 2009. – № 4.
18. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II / Д.А. Гаврилов. – СПб.: Питер, 2003. – 352 с.
19. Гаджинский А.М. Логистика: учебник для высших и средних специальных учебных заведений / А.М. Гаджинский. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Маркетинг», 2002. – 408 с.
20. Громкович Ю. Теоретическая информатика. Введение в теорию автоматов, теорию вычислимости, теорию сложности, теорию алгоритмов,

рандомизацию, теорию связи и криптографию / Ю. Громкович. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 338 с.

21. Дехканов Д. i2: 20 лет в металлургии / Д. Дехканов // Металло-снабжение и сбыт. – 2008. – № 10. – С. 84.

22. Джонс Дж.К. Методы проектирования. / Дж. К. Джонс – М.: Мир, 1986. – 326с.

23. Дыбская В.В. Логистика. В 2 ч. Часть 1 : учебник для бакалавриата и магистратуры / В.В. Дыбская, В.И. Сергеев : под общей и науч. ред. В.И. Сергеева. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 317с.

24. Дыбская В.В. Логистика. В 2 ч. Часть 2: учебник для бакалавриата и магистратуры / В.В. Дыбская, В.И. Сергеев: под общей и науч. ред. В.И. Сергеева. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 341с.

25. Елисеева И.И. Эконометрика: учебник. / И.И. Елисеева. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 344 с.

26. Загидуллин Р.Р. Оперативно-календарное планирование в гибких производственных системах / Р.Р. Загидуллин под. ред. В.Ц. Зориктуева. – М.: Изд-во МАИ, 2004. – 208 с.

27. Загидуллин Р.Р. Управление Машиностроительным производством с помощью MES-систем / Р.Р. Загидуллин, Е.Б. Фролов // СТИН. – 2007. – № 11. – с. 2-5.

28. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Монография / Р.Р. Загидуллин. – Ст. Оскол: ТНТ, 2011. – 372 с.

29. Иванов Д.А. Управление цепями поставок / Д.А. Иванов. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2009. – 660 с.

30. Карминский А.М. Информатизация бизнеса: концепции, технологии, системы/ А.М. Карминский, С.А. Карминский, П.В. Нестеров, Б.В. Черников. – М.: ФиС, 2006. – 624 с.

31. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5/Ю.Г. Карпов. – СПб: БХВ-Петербург, 2006.– 400 с.

32. Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика С8: [пер. с англ.] / В. Дэвид Кельтон, Аверилл М. Лоу. – 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2004. – 847 с.

33. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем: учеб. пособие / Н.Б. Кобелев. – М.: Дело, 2003. – 336 с.

34. Конвичка Д. Инновационное планирование и составление графиков в комплексных средах / Д. Конвичка, В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2015. – № 6 (71). – С. 77-83.

35. Конвичка Д. Повышение качества клиентского сервиса и производственной эффективности производителя спецсталей благодаря улучшению процессов планирования удовлетворения заказов / Д. Конвичка, В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 4 (63). – С. 55-64.

36. Конвичка Д. Системы расширенного планирования и диспетчирования для комплексных сред / Д. Конвичка, В.В. Солодовников // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2017. – № 1. – С. 204-210.

37. Конвичка Д. Сравнительный анализ архитектур систем оперативного планирования производства с точки зрения их применения в условиях комплексных сред (на практическом примере TimkenSteel, США) / Д. Конвичка, В.В. Солодовников // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2016. – № 4. – С. 221-228.

38. Конвичка Д. Усиление конкурентных преимуществ производителя стали благодаря повышению качества составления графиков выплавки и разлива / Д. Конвичка, В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 6 (65). – С. 64-73.

39. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок: Пер. с англ. / М. Кристофер. – СПб.: Питер, 2004. – 316 с.

40. Левина Т.В. Лучшие практики. Совместное планирование, прогнозирование и пополнение запасов / Т.В. Левина // Логистика и управление цепями поставок. – 2013. – № 1. – С. 83-87.

41. Левина Т.В. Стратегическое планирование цепи поставок с использованием SCOR-модели / Т.В. Левина, В.И. Сергеев // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 1. – С. 8-20.
42. Марченко И.В. Экономико-математические методы [Электронный ресурс] / И.В. Марченко – Режим доступа: [http://eos.ibi.spb.ru/umk/4\\_4/5/print/5\\_R1\\_T8.pdf](http://eos.ibi.spb.ru/umk/4_4/5/print/5_R1_T8.pdf).
43. «Мечел» и i2 СНГ объявляют о начале создания системы производственно-экономического планирования на предприятиях «Мечела» [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://it.metalinfo.ru/2006/prezent/i2/news\\_mechel.pdf](http://it.metalinfo.ru/2006/prezent/i2/news_mechel.pdf).
44. Михелькевич В.Н. Основы научно-технического творчества/ В.Н.Михелькевич, В.М.Радомский. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – С. 320.
45. ММК автоматизирует оперативно-календарное планирование [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://mmk.ru/press\\_center/65407/](http://mmk.ru/press_center/65407/).
46. ММК намерен оптимизировать продажи с помощью решений JDA [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/47250>.
47. НЛМК выкупил прокатные мощности СП с Duferco за \$600 млн [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.forbes.ru/news/70189-nlmk-vyкупil-prokatnye-moshchnosti-sp-s-duferco-za-600-mln>.
48. Новое поколение Инновационного Планирования в стальном дивизионе TimkenSteel [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.logis.cz/sites/default/files/pdf/ru/LOGISNews2014.pdf>.
49. Новое поколение планирования на металлургическом предприятии Trinecke Zelezarny [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.logis.cz/sites/default/files/pdf/ru/LOGISNews2016.pdf>.
50. ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» повышает эффективность производственно-экономического планирования [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://mmk.ru/press\\_center/13921/](http://mmk.ru/press_center/13921/).
51. Ойкс Г.Н. Производство стали / Г.Н. Ойкс – М.: Металлургия, 1974. – 440 с.

52. Опыт развития систем управления цепочками поставок в ОМК [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://it.metalinfo.ru/2010/02\\_omk.htm](http://it.metalinfo.ru/2010/02_omk.htm).
53. Официальный сайт LOGIS [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.logis.cz/ru>.
54. Плотников А.Д. Математическое программирование: экспресс-курс / А.Д. Плотников. – Минск: Новое знание, 2006. – С. 171.
55. Прогрессивное планирование производства в компании Trinicke Zelezarny [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.logis.cz/pdf/ru/LOGISNews2009.pdf>.
56. Проигрыш Мордашова в битве за Arcelor обернулся удачей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.finanz.ru/novosti/birzhevyye-tovary/proigrysh-mordashova-v-bitve-za-Arcelor-obernulsya-udachey-1001037865>.
57. Производство стали в России и в мире в 2015 году [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://mashprom.ru/press/news/proizvodstvo-stali-v-rossii-i-v-mire-v-2015-godu/>.
58. Пузанова И.А. Интегрированное планирование цепей поставок / И.А. Пузанова. – М.: Юрайт, 2014. – 320 с.
59. Решения i2 повысят прибыльность портфеля заказов Северстали [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.pressroom.ru/release.php?id=26738>.
60. Российские металлурги потеряли \$11 млрд на зарубежных активах [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://izvestia.ru/news/585560#ixzz3zIL4w16o>.
61. Северсталь завершила внедрение системы оптимизации портфеля заказов и планирования производства [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.infogeo.ru/metalls/news/?act=show&news=12266>.
62. Северсталь проиграла «битву за Arcelor» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rg.ru/2006/06/30/severstal-anons.html>.
63. Северсталь-метиз выкупает долю ArcelorMittal в СП ТрефилАрбед Рус [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/26422>.

64. Сегодня на промышленной площадке ОАО «Северсталь» состоялся торжественный запуск линии производства горячеоцинкованного проката на ЗАО «Севергал» – совместном предприятии ОАО «Северсталь» и компании Arcelor [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.cpv.ru/modules/news/article.php?storyid=821>.

65. Сергеев В.И. DCOR моделирование как развитие стандарта SCOR-модели / В.И. Сергеев // Логистика и управление цепями поставок. – 2008. № 4. – С. 8-13.

66. Сергеев В.И. Использование SCOR-модели для контроллинга цепей поставок/ В.И. Сергеев, В.В. Дыбская // Логистика сегодня. – 2014. – № 3. – С. 134-148.

67. Сергеев В.И. Концепция/технология совместного планирования, прогнозирования и пополнение запасов (CPFR) как пример интеграции партнеров в цепи поставок / В.И. Сергеев, В.В. Албегов // Логистика и управление цепями поставок. – 2007. – № 3. – С. 64-80.

68. Сергеев В.И. Логистика и управление цепями поставок – антикризисные инструменты менеджмента / В.И. Сергеев // Логистика и управление цепями поставок. – 2015. – № 1. – С. 9-23.

69. Сергеев В.И. Процессный подход к анализу цепей поставок в разрезе эволюции SCOR-модели / В.И. Сергеев // Интегрированная логистика. – 2011. – № 5. – С. 5-6.

70. Сергеев В.И. Развитие интеграции в цепи поставок на основе технологии S&OP – «Планирование продаж и операций»/ В.И. Сергеев, Е.Д. Гранкин // Логистика и управление цепями поставок. – 2008. – № 4. – С. 51-70.

71. Сергеев В.И., Применение концепция управления поставщиком запасами потребителя (VMI) в логистической системе распределения запасных частей / В.И. Сергеев, Д. Гришуткина // Логистика и управление цепями поставок. – 2007. – № 3. – С. 10-28.

72. Сергеев В.И. Контроллинг в логистических системах / В.И. Сергеев // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 4. – С. 60-85.

73. Сергеев В.И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / В.И. Сергеев. – М.:Инфра-М, 2005. – 975 с.
74. Сергеев В.И. Методические рекомендации. Проектирование цепей поставок на основе Референтной модели операций в цепях поставок (SCOR)/ В.И. Сергеев, Т.В. Левина. – М.:ВШЭ, 2013. – 29 с.
75. Сергеев В.И. Рекомендуемая модель операций в цепях поставок. – SCOR-модель / В.И. Сергеев // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 1. – С. 56-71, № 2 – С. 64-75.
76. Сергеев В.И. Управление цепями поставок. Учебник / В.И. Сергеев. – М.: Юрайт, 2015. – 480 с.
77. Смирнова Е.А. Управления цепями поставок. Учебное пособие / Е.А. Смирнова. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2009. – 120 с.
78. Создание СП с Dufenco увеличит капитализацию НЛМК [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.metallpress.ru/content/44020.html>.
79. Солодовников В.В. Информационная поддержка стратегического планирования цепи поставок / В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 5 (64). – С. 40-47.
80. Солодовников В.В. Методология интегрированного планирования цепей поставок предприятий черной металлургии / В.В. Солодовников // Перспективы развития логистики и управления цепями поставок: сб.науч.тр. VII Международной научной конференция (18 апреля 2017 г.): в 2 частях/ науч.ред. В.И. Сергеев; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: Изд. «Эс-Си-Эм Консалтинг», 2017. – 200 экз. – ч.1. – С. 380-389.
81. Солодовников В.В. Модели интегрированного планирования для металлургических предприятий / В.В. Солодовников // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2017. – № 4. – С.238 -242.
82. Солодовников В.В. Особенности планирования цепей поставок предприятий черной металлургии / В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2016. – № 2 (73). – С. 35-44.

83. Солодовников В.В. Планирование спроса в цепях поставок/ В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2016. – № 1 (72). – С. 14-30.

84. Солодовников В.В. Производственно-экономическое планирование цепи поставок Магнитогорского металлургического комбината / В.В. Солодовников, А.А. Еремин, В.К. Рузанкин // Логистика и управление цепями поставок. – 2015. – № 1 (66). – С. 35-43.

85. Солодовников В.В. Развитие методологии планирования цепей поставок для металлургической отрасли/ В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2016. – № 5 (76).

86. Солодовников В.В. Реорганизация системы управления металлургической компании на основе модели SCOR / В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2015. – № 4 (69). – С. 18-26.

87. Солодовников В.В. Системы стратегического проектирования цепей поставок / В.В. Солодовников // Логистика. – 2015. – № 12 (109). – С. 26-31.

88. Солодовников В.В. Стратегическое моделирование цепи поставок угольной компании/ В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 2 (61). – С. 6-14.

89. Солодовников В.В. Тактическое планирование производства Магнитогорского металлургического комбината / В.В. Солодовников, А.А. Еремин, В.К. Рузанкин // Логистика. – 2017. – № 5. – С. 12-16.

90. Солодовников В.В. Тактическое планирование цепи поставок трубной компании / В.В. Солодовников // Логистика и управление цепями поставок. – 2015. – № 3 (68). – С. 76-88.

91. Солодовников В.В. Эволюция цепей поставок предприятий черной металлургии / В.В. Солодовников // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2017. – № 2. – С. 59-64.

92. СП НЛМК и DUFERCO GROUP приобретает WINNER STEEL [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/23117>.

93. Сток Дж.Р. Стратегическое управление логистикой: Пер. с англ. 4-е изд. / Дж.Р. Сток, Д.М. Ламберт. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797 с.

94. Суконкина Е.С. Скованные одной цепью или VMI технология в действии / Е.С. Суконкина // Логистика и управление цепями поставок. – 2011. – № 6. – С. 51-60.

95. Таха Х. Введение в исследование операций. 7-е издание / Х. Таха. - М.: Вильямс, 2005. – 912 с.

96. Титановый гигант «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» повышает качество клиентского сервиса [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/80734>.

97. ТМК и Corinth Pipeworks S.A. учредили СП по выпуску электросварных прямошовных труб [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/21742>.

98. Улахович В.А. Выплавка чугуна в мощных доменных печах / В.А. Улахович. – М.: Металлургия, 1991. – 172 с.

99. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок: Пер. с англ. / Д. Уотерс. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503 с.

100. Управление цепями поставок. Справочник издательства Gower / Под ред. Дж. Гатторны. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 670 с.

101. Фролов Е.Б. Производственные исполнительные системы MES: реальная эффективность / Е.Б. Фролов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 5. – С.48-50.

102. Фролов Е.Б., Загидуллин Р.Р. MES-системы, как они есть или эволюция систем планирования производства. Часть I [Электронный ресурс] / Е.Б. Фролов Р.Р. Загидуллин. – Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/stati/mes-sistemyi-kak-oni-est-ili-evolyutsiya-sistem-planirovaniya-proizvodstva.-chast-i.html>.

103. Фролов Е.Б., Загидуллин Р.Р. MES-системы, как они есть или эволюция систем планирования производства. Часть II [Электронный ресурс] / Е.Б. Фролов Р.Р. Загидуллин. – Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/stati/mes-sistemyi-kak-oni-est-ili-evolyutsiya-sistem-planirovaniya-proizvodstva.-chast-ii.html>.

104. Фролов Е.Б., Загидуллин Р.Р. Оперативно-календарное планирование и диспетчирование в MES-системах. Часть I [Электронный ресурс] / Е.Б. Фролов, Р.Р. Загидуллин. – Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/stati/operativno-kalendarnoe-planirovanie-i-dispetchirovanie-v-mes-sistemah.-chast-i.html>.

105. Фролов Е.Б., Загидуллин Р.Р. Оперативно-календарное планирование и диспетчирование в MES-системах. Часть II [Электронный ресурс] / Е.Б. Фролов, Р.Р. Загидуллин. – Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/stati/operativno-kalendarnoe-planirovanie-i-dispetchirovanie-v-mes-sistemah.-chast-ii.html>.

106. Хорошев А.Н. Введение в управление проектированием механических систем: Учебное пособие / А.Н. Хорошев. – Белгород, 1999. – 372 с.

107. ЧерМК и i2 СНГ реализуют совместный пилотный проект [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://chemmk.severstal.com/press\\_center/news/document1055.phtml](http://chemmk.severstal.com/press_center/news/document1055.phtml).

108. Шапиро Д. Моделирование цепи поставок / Д. Шапиро. – СПб.: Питер, 2006. – 720с.

109. Шимко П.Д. Оптимальное управление экономическими системами / П.Д. Шимко. – СПб.: Бизнес-пресса, 2004. – 240 с.

110. Arcelor Mittal и Северсталь объявляют о соглашении по продаже Северстали 25% доли Arcelor Mittal в компании Севергал [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.severstal.com/rus/media/news/document3281.phtml>.

111. Advanced planning and scheduling [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_planning\\_and\\_scheduling](http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_planning_and_scheduling).

112. APICS Dictionary. 13th ed. – Chicago:APCIS The Association of Operations Management, 2011.

113. Bermudez J. Advanced Planning and Scheduling Systems: Just a fad or a breakthrough in manufacturing and supply chain management. The report on manufacturing/ J. Bermudez // AMR. – 1996. – December.

114. Bubenik P. Advanced Planning System in Small Business / P. Bubenik // Applied Computer Science. – 2011. – Volume 7, Number 2. – p. 21-26.
115. CCOR 1.0 with Metrics. – SCC, 2004. – 171 p.
116. Croxton K.L. The Demand Management Process/ K.L. Croxton, D.M. Lambert, S.J. García Dastugue, D.S. Rogers // The International Journal of Logistics Management. – 2002. – Vol. 13 Iss: 2. – p.51-66.
117. Damotte E. KPMG. Global Metals Outlook 2015: Going for growth in an era of intense competition [Электронный ресурс]/E. Damotte. – Режим доступа: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/09/kpmg-global-metals-outlook>. – 2015.pdf.
118. Degner M. Steel Manual / M. Degner – Dusseldorf:Steel Institute VDEh, 2008. – 185 p.
119. Dickersbach J.T. Production Planning and Control with SAP ERP 2nd Edition/ J.T. Dickersbach, G.Keller. – Bonn:Galileo Press, 2010. – 510 p.
120. Fontanella J. The Overselling of Supply Chain Planning Suites – 60 Manufacturers Speak Up AMR Research Report / J. Fontanella //AMR. – 2001.
121. Günther H.O. Advanced Planning and Scheduling Solutions in Process Industry. GOR Publications/ H.O. Günther, P. van Beek. – Berlin:Springer, 2003. – 426 p.
122. GSCF [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fisher.osu.edu/centers/scm/members/>.
123. Hamilton S. Maximizing your ERP system a practical guide for managers / S. Hamilton. – New York: McGraw-Hill, 2002. – 350 p.
124. Hvolby H.A. Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems / H.A. Hvolby, S.J. Steger-Jensen // Computers in Industry. – 2010. – Vol. 61, № 9. – p. 845-851.
125. Ivert L.K. Use of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems to support manufacturing planning and control processes. Thesis for PhD/ L.K. Ivert. – Göteborg,Sweden:Chalmers Reproservice, 2012. – 111 p.
126. Kambo N.S. Mathematical programming techniques / N.S. Kambo. – New Delhi, India:Affiliated East-West Press, 1984. – 719 p.

127. Lambert D.M. Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance, 4th Edition / D.M. Lambert. – Ponte Vedra Beach, FL: Supply Chain Management Institute, 2014. – 463 p.

128. Mentzer J. Defining Supply Chain Management / J. Mentzer, W. DeWitt, J. Keebler, S. Min, N. Nix, C. Smith, Z. Zacharia // Journal of Business Logistics. – 2001. – Vol. 22. – № 2. – p. 1-25.

129. Metals Industry Leaders Successfully Leverage i2 Solutions [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.businesswire.com/news/home/20050310005441/en/Metals-Industry-Leaders-Successfully-Leverage-i2-Solutions>.

130. Naden J. Have a successful APS implementation / J. Naden // IIE Solutions. – 2000. – Vol. 32, № 10. – p.10.

131. Nippon Steel and Sumitomo Metal. Alliances with Overseas Steelmakers [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.nssmc.com/en/ir/library/pdf/nscguide2012\\_e\\_26.pdf](http://www.nssmc.com/en/ir/library/pdf/nscguide2012_e_26.pdf)

132. Oliver K. Supply chain management: Logistics Catches up with Strategy / K. Oliver, M. Webber Ed. By M.Cristopher // Logistics: The Strategy Issues. - 1982. – p. 63-75.

133. PwC. Steel in 2025: quo vadis? [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.pwc.com/gx/en/metals/pdf/metals-stahlmarkt-2015.pdf>

134. Onkal D. Supply Chain Management – Pathways for Research and Practice / D. Onkal. – InTech, 2011. – 234 p.

135. Stadtler H. Supply Chain Management and Advanced Planning. Third Edition / H. Stadtler, Ch. Kilger. – Berlin:Springer, 2004. – 512 p.

136. Solodovnikov V. Order fulfillment planning at TimkenSteel / V. Solodovnikov, D. Konvicka. – Proceeding of the 49th International October Conference on Mining and Metallurgy (IOC 2017), the University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, 2017, P. 385-388.

137. Solodovnikov V. Strategic Supply Chain Planning / V. Solodovnikov. – Book of Proceedings of 13th International May Conference on Strategic Management

– IMKSM17, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Management Department, 2017. – P. 30-37.

138. Solodovnikov V. Strategic Supply Chain Planning / V. Solodovnikov. – Book of abstracts of 13th International May Conference on Strategic Management – IMKSM17, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Management Department, 20. – P. 8.

139. Supply Chain Operations Reference Model v 10.0. – SCC, 2010. – 856 p.

140. Van Eck, M. Is logistics everything, a research on the use(fullness) of advanced planning and scheduling systems, BMI paper/ M. van Eck. – Amsterdam:University of Amsterdam, 2003. – 111 p.

141. Vollman T. Manufacturing planning and control systems for Supply Chain Management: The Definitive Guide for Professionals. 5th edition / T. Vollman, W. Berry, D.C. Whybark, F.R. Jacobs. – New York:McGraw-Hill Education, 2004 – 598 p.

142. Winston W.L. Operations research: applications and algorithms (with CD-ROM and InfoTrac) 4th Edition / W.L. Winston. – Pacific Grove, CA:Duxbury Press, 2003. – 1440 p.

143. Zoryk A.A strategy for steel company survival [Электронный ресурс] / A. Zoryk. – Режим доступа: <https://www.accenture.com/us-en/blogs/blogs-strategy-steel-company-survival> .

144. Zoryk A. Who decides delivery promises in your steel company? [Электронный ресурс] / A. Zoryk. – Режим доступа: <https://www.accenture.com/us-en/blogs/blogs-who-decides-delivery-promises-steel-company>.

*Монография*

**Солодовников Виталий Витальевич**

**Методология интегрированного планирования  
цепей поставок промышленных предприятий  
(на примере комплексов черной металлургии)**

Компьютерная верстка Сафоновой Л.В.

Издание подготовлено к печати ОАО «ИТКОР»

125319, Москва, ул. Черняховского, д. 16  
тел. 8 (499) 152-18-23

E-mail: [ls-office@itkor.ru](mailto:ls-office@itkor.ru)  
[www.itkor.ru](http://www.itkor.ru)

Сдано в набор 22.12.17. Подписано в печать 29.12.17.  
Формат 60х90/16. Заказ № 19. Усл. печ. л. 20,9.  
Тираж 1000 экз.

Отпечатано: ООО "Белый Ветер", 115407, Москва,  
Нагатинская набережная, дом № 54, оф.4,  
тел.: (495) 651-84-56

# Совместный проект



Институт ИТКОР



Издательский дом  
«Экономическая газета»

## Издание авторских монографий

### **Мы гарантируем:**

- СКОРОСТЬ  
Необходимый Вам тираж издается в течение 30 дней
- КАЧЕСТВО  
Монографии оформляются с выполнением всех требований для научных изданий

### **Мы предлагаем:**

- присвоение международного кода ISBN
- допечатная подготовка: редактирование, корректура, верстка
- печать
- обязательная рассылка в Книжную палату РФ
- проведение независимого рецензирования научных работ

E-mail: [monograph@itkor.ru](mailto:monograph@itkor.ru), [ls-office@itkor.ru](mailto:ls-office@itkor.ru)  
тел. 8(499)152-18-23

---

125319, Москва, ул. Черняховского, 16  
[www.itkor.ru](http://www.itkor.ru)



## СОЛОДОВНИКОВ ВИТАЛИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ –

кандидат технических наук, доцент кафедры управления цепями поставок Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», директор по развитию бизнеса в России и СНГ в компании «ЛОГИС» (г. Френштат-под-Радгоштем, Чешская Республика – Москва, Россия). Эксперт по управлению цепями поставок с более чем 15-летним стажем. Специализируется на внедрении решений по интегрированному планированию в металлургии. Список заказчиков включает такие компании, как Корпорация ВСМПО-АВИСМА, TimkenSteel, Магнитогорский металлургический комбинат, «Северсталь», Объединенная металлургическая компания, Сибирская угольная энергетическая компания и др.

Автор имеет более 45 научных работ, ведет преподавательскую деятельность по дисциплинам «Интегрированное планирование в цепях поставок», «Контроллинг логистических бизнес-процессов» и «Стратегическое планирование цепей поставок».