

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ПОТОКОВЫЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ

Хохлов А.С., Мишутин Д.Ю., Баулин Е.С.

ООО "Центр цифровых технологий",

Россия, г. Москва, Территория Сколково Инновационного центра, улица Нобеля, дом 7, помещение 29

box1563@gmail.com, dymish@ya.ru, baulin.es@mipt.ru

Аннотация: Рассматривается подход к построению оптимизационных потоковых моделей производственных объединений сложных производственных объектов типа НПЗ/НХК в сетевой среде с использованием информационно-коммуникационных технологий и направленный на рост эффективности производства и компетенций его специалистов. Раскрывается специфика взаимодействия сложных моделей объектов и их линейной аппроксимации и суперпозиции как модели линейного программирования производственного объединения. Подход применим к производственным структурам типа ВИНК и промышленным кластерам.

Ключевые слова: модель, ИКТ, КСП, линейное программирование, оптимизация, планирование, сетевая инфраструктура, сервисная архитектура, объединение, производство, ВИНК, кластер.

Введение

Известно, что переход к постиндустриальной эпохе предполагает рост компетенций специалистов предприятий с наукоемкими производствами товарной продукции и оказания услуг. Интенсивное развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) позволило существенно расширить применение цифровых моделей, охватывающих как отдельные технологические процессы, так и их объединение и тем самым аккумулировать в них знания о ведении технологических процессов и их взаимодействиях и экономики. Это приводит к расширению применения средств моделирования и росту требований к детализации моделей, представлению результатов, их интерпретации, и как следствие предполагает автоматизированную генерацию глобальной модели комплексного объекта типа производственных объединений из моделей отдельных производств для отслеживания их взаимодействия при проигрывании различных сценариев развития ситуации на перспективу.

Производственные объединения (или корпоративные предприятия) представляют собой совокупность объектов, взаимосвязанных потоками различного рода и несущие затраты на их преобразование, хранение, потребление, транспортировку, сбыт и с конечной целью увеличения своей прибыли на перспективу или в данный текущий период за счет эффективного формирования потоков как продукции имеющей потребительскую ценность при реализации на рынке. К корпоративным предприятиям можно отнести интегрированные компании в различных отраслях народного хозяйства, например, структуры типа вертикально-интегрированных нефтяных компании (ВИНК) или в общем случае нефтехимические кластеры. Тип потоковой схемы для корпоративного предприятия и место в ней генератора глобальной модели представлен на рис. 1.

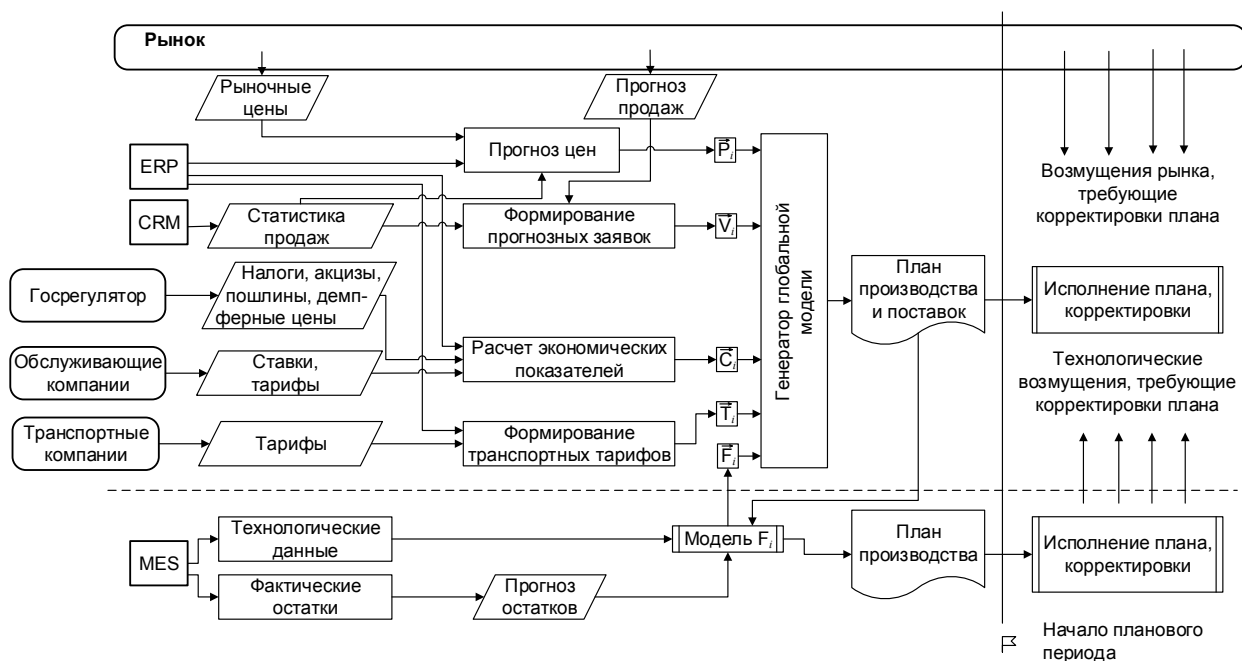


Рис. 1. Общая схема потоков данных корпоративного предприятия и место глобальной модели

Современные корпоративные предприятия, например, ВИНК представляют собой совокупность географически распределенных многофункциональных производственно-коммерческих объектов, охватывающих всю цепочку нефтяного бизнеса: разведка и добыча нефти, нефтепереработка и нефтехимия, оптовый и розничный сбыт продукции. Потоки производственных i -объектов на рис.1 — часть нижняя — цепочки [MES — Модели F_i] для каждого i -объекта, а коммерческие потоки представлены выше, где большая часть данных ведется, как правило, на уровне головного офиса в системах ERP/CRM. Выделим ряд ключевых потоков рис.1 в следующие группы данных:

- источники потоков сырья, характеризующиеся заданными и неизменными на горизонте управления производительностью и качеством;
- источники вспомогательных материалов и энергии для ведения технологических процессов на производстве и обеспечения современного уровня ОЗХ и экологии;
- собственные и арендуемые средства транспортировки потоков сырья на переработку и/или продажу как продукции, характеризующиеся логистикой (маршруты, пропускные способности и т.д.) и различными экономическими показателями (тарифы и др.);
- собственные и арендуемые мощности (предприятия) по преобразованию (переработке) потоков сырья, характеризующиеся различным технологическим оформлением (типы установок, режимы их работы, мощности и т.д.) и ТЭП — экономические показатели (стоимость процессинга, глубина переработки и др.) i -объектов;
- собственные и арендуемые средства транспортировки потоков как готовой продукции, характеризующиеся логистикой и экономическими показателями (аналогично транспортировке потоков сырья);
- собственные и арендуемые средства хранения готовой продукции, её оптовой и розничной продажи, характеризующиеся мощностями (возможные объемы хранения) и экономическими показателями (затраты на хранение, сбыт и др.).

ВИНК функционирует в условиях внешнего окружения (рынка), на котором можно покупать/продавать сырье и готовую продукцию. Рынок сегментирован на географические регионы, каждый из которых характеризуется постоянными для данного региона ценами на продукцию на горизонте управления и фиксированными рыночными нишами (т.е. возможными диапазонами поставок каждого вида потока — сырья и продукции). Упомянутая выше логистика поставок сырья и продукции «наложена» на географические регионы рынка и все указанные аспекты должны найти отражение в глобальной модели комплексного объекта.

В докладе детально рассматриваются ключевые требования к созданию оптимизационных потоковых моделей производственных объединений как результат обобщения более чем 20-летнего опыта их внедрения в России в нефтехимической отрасли для структур ВИНК [1—5].

1 Агрегирование и актуализация моделей производственных объединений

Модели производственных объединений должны представлять взаимосвязанную совокупность потоковых моделей F_i отдельных ее i -производств с терминалами для учета поступления сырья и вспомогательных материалов и поставки продукции потребителям. Модели F_i , для выработки корректных управленческих решений, имеют, как правило, необходимый уровень детализации (агрегирования), где X -переменные в моделях — потоки, которые характеризуются количеством и определенными свойствами. В результате эти модели F_i часто включают нелинейности из-за учета количественных показателей потоков и их свойств, имеют большую размерность и вариативность, и соответственно должны быть оптимизационными. Включение моделей F_i в таком виде в оптимизационную глобальную модель производственного объединения создает часто непреодолимые сложности при ее эксплуатации — не удастся найти оптимум — решение, интерпретировать и согласовать его у руководства объединения в отведенные регламентные сроки, позволяющие обеспечить синхронизацию процессов управления комплексным объектом.

Следствием этого обстоятельства — агрегированная глобальная модель производственного объединения должна быть задачей линейного программирования (ЛП-модель), где каждая из моделей F_i будет представлена в ней, например, в виде совокупности векторов — (\vec{F}_i) выходы-вектора целевых продуктов и затраты на его получение из тонны входного сырья. Необходимым условием такого подхода к агрегированию модели объединения является требование эффективной эксплуатации детальных моделей F_i непосредственно группой на объекте во главе с аналитиком.

Согласно [6] при ведении детальных моделей производств F_i предполагается выполнение взаимосвязанных принципов «5А»: «Агрегирование; Актуализация; Адаптация; Аддитивность; Асинхронность», т.к. они генерируют цикл, и соответственно создается обратная связь в триаде «аналитик—модель—производство», обеспечивая ее саморегуляцию для поддержки эффективной эксплуатации. Обозначим как $F_i(X)$ -модель — актуальная детальная модель i -производства, и, используя их, определяем совокупности (\vec{F}_i) выходов-векторов, что в виде G^* суперпозиции является линейной аппроксимацией моделей $F_i(X)$. Включение в глобальную ЛП-модель, наряду с другими потоками (рис.1), G^* суперпозиций (\vec{F}_i) обеспечит актуализацию ее текущего состояния перед началом поиска оптимума, но делает ее приближенной. Как следствие, в ходе же поиска оптимума ЛП-модели, полученное текущее решение — X^* является приближенным и требуется его анализировать на корректность, например, следуя схеме рис.2.

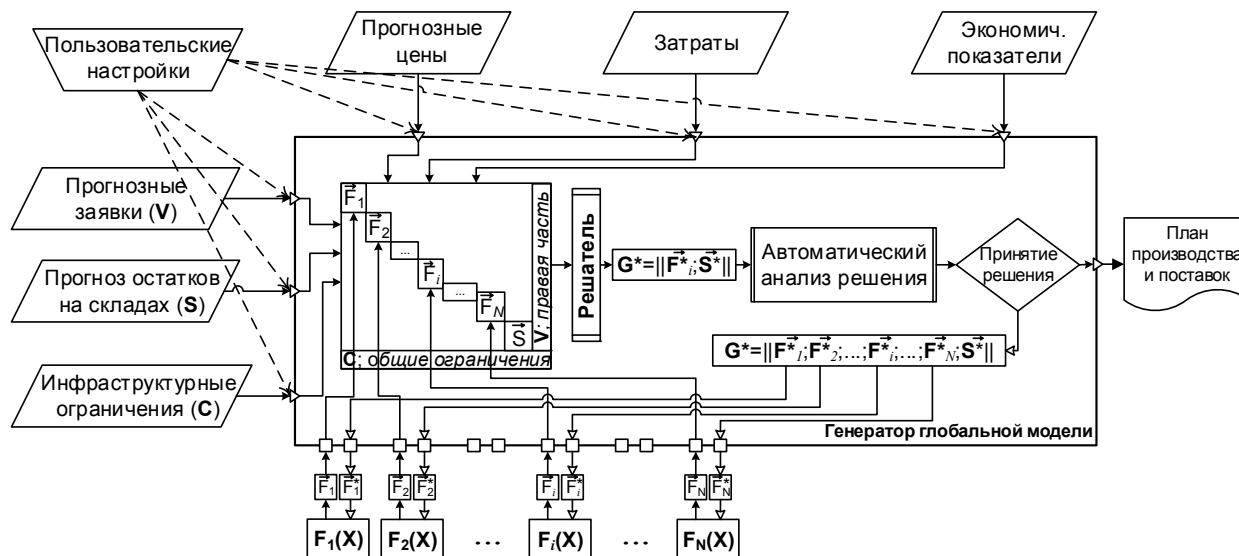


Рис. 2. Взаимосвязь ЛП-модели объединения с детальными моделями I -производств

Суть схемы на рис. 2. — уточнение решения X^* с использованием $F_i(X)$ -моделей, если не выполняется условия процедуры сходимости для используемой линейной аппроксимации G^* , то по X^* и моделям $F_i(X)$ вычисляются дополнительные (\vec{F}_i) выходы-вектора, и ЛП-модель корректируется, а именно G^* и далее осуществляется следующая итерация поиска оптимума. Поиск оптимума, при необходимости, может быть остановлен на любой итерации и полученное решение X^* используется как основа в принятии управленческого решения для объединения.

2 Адаптация на основе микросервисной архитектуры

Реализация схемы на рис.2. — это адаптации цифровой среды объединения для построения глобальной ЛП-модели с необходимым уровнем агрегирования и способом ее актуализации с последующим поиском оптимума и его интерпретации, что сводится при работе с корпоративной системой планирования (КСП) к созданию необходимой сетевой инфраструктуры со встроенным специализированным программным обеспечением.

Сетевая инфраструктура должна включать ряд функционально выделенных компонентов:

База Данных. БД предназначена для хранения справочников, вариантов исходных данных (проектов) и результатов решения.

Модуль ведения справочников и шлюз к корпоративной базе данных (КБД). Указанные средства используются для хранения описаний принятых понятий в СТП-модели и взаимосвязь их с КБД.

Модуль прав доступа и статуса проекта. Введение прав доступа используется для обеспечения идентификации и авторизации пользователей, работающих в Системе, их уровень доступа к Системе и фиксация их действий в журнале. Ведение статуса проекта используется для обеспечения уровня доступа пользователя к выбранному проекту в соответствии с состоянием готовности проекта.

Архив. Средства ведения архива используются для хранения завершенных проектов и обеспечения доступа к ним других информационных систем корпоративного предприятия.

Генератор оптимизационной глобальной ЛП-модели. Средства генерации обеспечивают контроль исходных данных, автоматическое построение на основе подготовленного проекта ЛП-модели в

формате стандартной оптимизационной системы, запуск процесса поиска и получения оптимального решения, запись его в БД.

Модуль формирования стандартных отчетов для проведения экспресс-анализа выполнения условий процедуры сходимости полученного решения.

Модуль формирования пользовательских отчетов. Подготовка пользовательских отчетов предназначена для получения решения в формате корпоративного предприятия. Пользовательские отчеты формируются с использованием стандартных средств построения отчетов.

Модуль экспорта/импорта данных. Средства экспорта/импорта обеспечивают обмен данными Системы с другими информационными системами корпоративного предприятия и/или с автоматизированных рабочих мест подготовки информации (АРМ).

Интерфейс пользователя. Средство взаимодействия с пользователем для обеспечения ввода и корректировки исходных данных, просмотра результата решения и вызова всех выше перечисленных программных блоков.

Непосредственно указанные функционально выделенные компоненты-модули при современном уровне развития ИТ предлагается создавать на базе платформы APS Framework 2.0. Идея в том, что нет четко обособленных компонентов-модулей, они все пересекаются и проникают друг в друга, причем этот процесс динамический, т.е. реагирует на изменения бизнес-процессов, и в результате корпоративная система представляет собой трехзвенное приложение на основе микросервисной архитектуры (рис. 3).

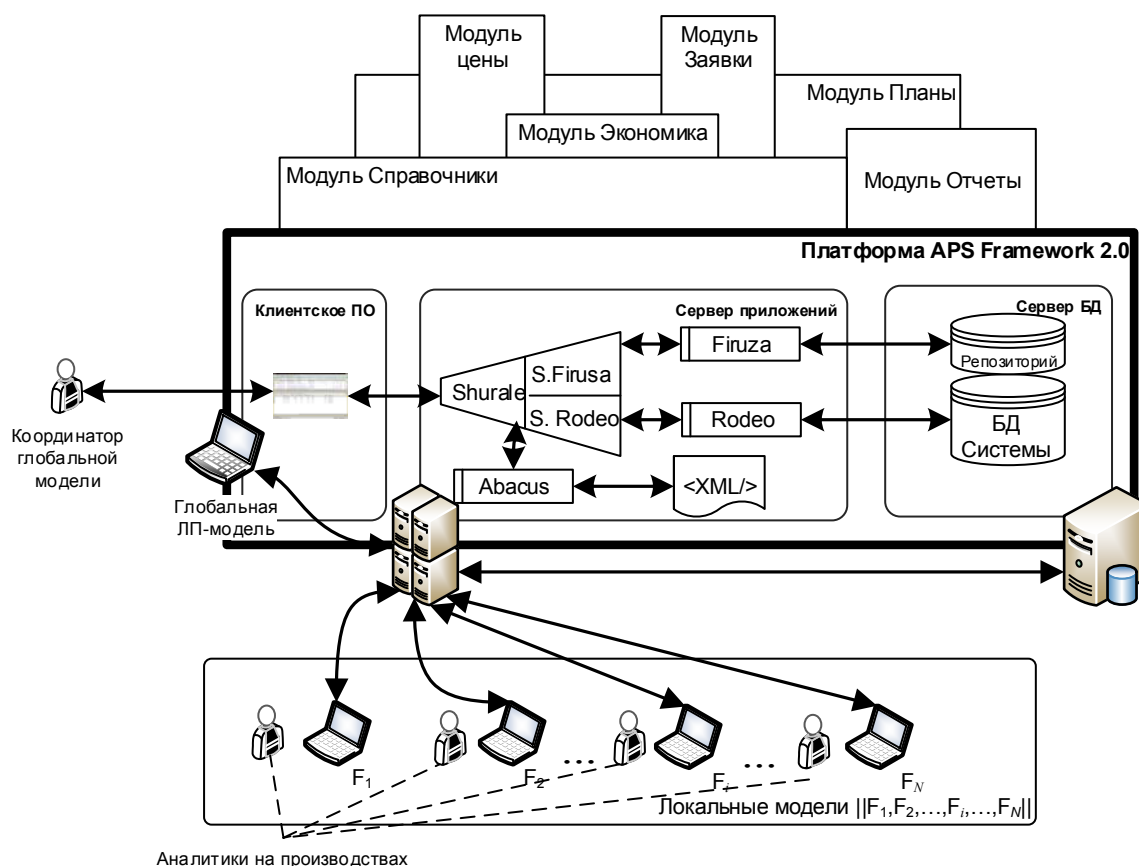


Рис. 3. Микросервисная архитектура

Платформа APS Framework 2.0 включает в себя клиентское приложение с графическим интерфейсом пользователя и командной строкой, сервер приложений с микросервисами связи с БД (Rodeo), репозитория (Firuz), авторизации (Abacus) и сервисом интеграции (Shurale) и сервер БД системы. Репозиторий для удобства администрирования может быть размещен на том же сервере, где располагается БД системы. Дадим ряд пояснений по приложения платформы:

- Сервис Rodeo (Relational Data Objects) запускается в виде отдельного приложения и служит для обеспечения связи с реляционной БД, в которой хранятся данные. Поддерживаются СУБД Oracle и MS SQL Server. Пользователь не может непосредственно вызывать команды сервиса, они вызываются только через программный интерфейс.

- Сервис Firuza (File Repository) запускается в виде отдельного приложения и служит для хранения структуры клиентского приложения. Структура хранится в таблицах СУБД Oracle или MS SQL Server. Имеется консольный клиент для выполнения команд сервиса.
- Сервис интеграции Shurale предназначен для интеграции остальных сервисов платформы APS 2.0 и подключения уровня сервиса бизнес-логики приложения в виде плагина. Этому плагину доступны возможности навигации и редактирования данных сервисов Firuza и Rodeo, а также контроля доступа операций (сервис Abacus). Shurale предназначен для обеспечения удобной навигации по различным источникам данных, описанных в плагинах и для работы с документами разных типов. Функционал сервиса расширяется за счет подключения модулей, которые и обеспечивают задачи навигации и преобразования документов. Каждый из модулей может обратиться к данным других модулей.
- Сервис Abacus (Attribute Based Access Control) служит для проверки прав пользователя на выполнение действий с документами приложения. Этот подход основывается на атрибутах документов, с которыми работает пользователь. Для выполнения авторизации значения всех атрибутов берутся в момент проверки прав и сравниваются с ожидаемыми значениями. Выполнение всех условий обеспечивает доступ к ресурсу.
- Клиентское приложение имеет как графический интерфейс пользователя, так и поддерживает интерфейс командной строки.

Интерфейс командной строки на стороне клиента обеспечивает взаимодействие с сервисами Shurale и Firuza. Набор команд похож на команды командной строки соответствующих сервисов.

Графический интерфейс пользователя Quasag предназначен для создания и работы с приложениями, построенными на базе фреймворка APS Framework 2.0. Он создан на платформе WPF и использует подключение к сервису Shurale. Без всяких дополнительных настроек у пользователя имеется возможность настраивать права доступа, хранить историю изменений файлов, создавать формы отображения данных и редактировать данные в MS Excel.

Отдельным приложением, входящим в состав клиентского ПО, является генератор модели. Он имеет собственные средства для обращения к БД и интерфейс командной строки, что позволяет запускать его не только из клиентского приложения Quasag, но и отдельно, в том числе в пакетных файлах или скриптах.

В графическом интерфейсе пользователя генератора пользователю доступны специфические настройки решателя (величина штрафа, точность и т.п.).

База данных системы предназначена для хранения данных моделей в терминах предметной области.

Модули КСП. В корпоративных системах планирования можно выделить следующие модули: Справочники, Заявки, Экономика (включает модули Цены, Затраты, Дополнительные показатели, Налоги), Планы, Журналы. Стоит отметить, что данное разделение на модули рекомендуемое, но не жестко заданное, поскольку система позволяет пользователю гибко настроить количество и структуру модулей с учетом специфических потребностей пользователей. Кроме того, каждый вариант модельных данных имеет подмодуль проверок, для верификации исходных данных. В модуле Журналы можно просмотреть историю действий пользователей на разном уровне: процедур, операций и инструкции БД. Время хранения истории настраивается пользователем.

3 Процесс планирования с использованием КСП

Процесс планирования с использованием КСП имеет пять типовых этапов, рис.4 — ввод данных, предобработка исходных данных, прогон модели, постобработка решения и выдача отчетов и переход к исполнению планов и представляется как следующая последовательность работ:

Ввод данных. Ряд процессов этого этапа размазаны во времени и не приурочены к началу периода планирования. Например, синхронизация справочников, это перманентный процесс и осуществляется при каком-либо изменении в корпоративных справочниках, или ввод ставок налогов и акцизов, который происходит редко и зависит от сроков изменения самих ставок.

К периоду планирования привязан ввод данных, относящихся к данному периоду. Большая часть данных импортируется из внешних систем автоматически (прогнозные заявки, цены), вручную вводятся курсы валют, данные об остатках на складах.

Предобработка исходных данных. Данные заявок формируются во внешних системах и в КСП поступают в свернутом состоянии. Специальными алгоритмами осуществляется преобразование данных заявок в требуемый формат и проверки на ошибки.

Верификация ценовых данных и экономических показателей необходима для исключения ошибок в прогнозе и корректной привязки их к заявкам.

Ввиду большого объема исходных данных в КСП применяются специальные модели привязки цен и затрат к строкам заявок. Поскольку параметры заявок постоянно меняются, некоторое количество данных остаются непривязанными (из опыта 5—7% от общего количества строк заявок), тут требуется ручная правка. Также вручную устанавливаются групповые и инфраструктурные ограничения.

Генерация и прогон модели. После того, как массив исходных данных сформирован и проверен на непротиворечивость, запускается генератор модели. Полученное решение анализируется на следующем этапе.

Постобработка решения. Полученное решение анализируется с точки зрения распределения материальных потоков. При необходимости правятся ограничения, и модель прогоняется еще раз.

Вторым этапом анализируется экономическая составляющая. Ставятся задания на выход к определенным экономическим целевым показателям, правятся ограничения, ценовые данные, экономические показатели, и модель прогоняется еще раз. В случае недостижения целевых показателей, готовится справка для ЛПП с комментариями к решению.

Отчеты. После согласования полученного решения, производится формирование пакета отчетов, для импорта в корпоративные информационные системы и рассылки в ДО.



Рис.4. Последовательность процесса планирования

Способ автоматизированного управления корпоративным предприятием с помощью ЛП-модели апробирован в таких компаниях как ПАО «Лукойл», ПАО «Татнефть-Нижнекамскшина» и ОАО «АК»Транснефть».

Заключение

1. Необходимым условием формирования оптимизационной потоковой модели производственного объединения включающего производства со сложной технологией типа НПХ/НХК — это наличие на каждом из них модели, поддержку которой обеспечивает группа во главе с аналитиком в соответствии с принципами «5А»[6].
2. Обеспечить разработку, внедрение оптимизационной потоковой модели производственного объединения с набором сложных производств в условиях рыночного окружения, следуя предлагаемому подходу, как создание ЛП-модели с использованием генератора и проводить ее эффективную эксплуатацию сможет только опытная команда во главе с координатором, имеющий высокий статус и взаимодействующий с верхним корпоративным руководством.
3. Для эффективной эксплуатации ЛП-модели (см.п.2) необходимо, чтобы аналитики на объектах (см.п.1) были подчинены напрямую координатору, а его группа обеспечивала ее ведение в соответствии с принципами «5А».

„

1. *Хохлов А.С., Коннов А.И., Зельдин А.Е.* Патент №2216039, Способ автоматизированного управления материальными потоками предприятия. 2003г.
2. *Артемьев С.Б., Хохлов А.С., Зельдин А.Е., Рахимов И.И., Марданишин В.А.* Автоматизированная система оптимального планирования шинного производства. Промышленные АСУ и Контроллеры, №10, 2003г.
3. *Хохлов А. С., Коннов, А. И., Зельдин А. Е.* Системы оптимизационного планирования и опыт внедрения и эксплуатации их в ВИНК. // Автоматизация в промышленности. 2009. №10.
4. *Хохлов А.С., Баулин Е.С., Коннов А.И., Мишутин Д.Ю.* Комплекс интегрированного планирования деятельности ВИНК// Автоматизация в промышленности, Москва, 2018, №12. - с. 17-28.
5. *Хохлов А.С., Мишутин Д.Ю., Бородин П.Е.* Оптимизационные инструменты моделирования нефтехимических кластеров.//Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия "Естественные и технические науки" (ISSN 2223-2966), выпуск №3/2(март) за 2019 г.136-143
6. *Хохлов А.С., Мишутин Д.Ю., Баулин Е.С.* Методологические аспекты реинжиниринга моделей НПЗ/НХК // Автоматизация в промышленности, Москва, 2021, №8. - с. 10-19