

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ КЛАССА APS ДЛЯ НПЗ/НХК И ИХ ОБЪЕДИНЕНИЙ

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

ООО "Центр цифровых технологий",

Москва, Россия

alexander.khokhlov@mipt-cdt.ru, dmitry.mishutin@mipt-cdt.ru, Baulin.es@mipt-cdt.ru

Аннотация. Системы класса APS мировых вендоров для НПЗ/НХК и их объединений в виде ВИНК активно использовались на отечественных предприятиях для решения задач планирования их работы. Для более полного понимания возможности импортозамещения этих систем, определяется специфика этих задач, формулируются требования к моделям их реализующим, и приводится пример программной реализации в виде комплекса взаимосвязанных систем, который создан специалистами ИТ-группы, имеющих опыт как в разработке, так и в эксплуатации на отечественных предприятиях систем мировых вендоров — RPMS/PIMS/AVEVA.

Ключевые слова: модель, APS, линейное программирование, МПР, оптимизация, планирование, RPMS, PIMS, СМПР, объединение, моделирование, производство, НПЗ, ВИНК, кластер.

Введение

Системы класса APS — Advanced Planning & Scheduling для НПЗ/НХК и их объединений в виде вертикально-интегрированных нефтяных компаний (ВИНК)[1] активно используются в настоящее время на отечественных предприятиях в планировании их работы, однако потенциал применения этих систем существенно выше для принятия управленческих решений и, по нашему мнению, в полной мере не используется. Причина — эти системы слабо встроены в информационные и организационные структуры этих предприятий из-за применения на них ПО мировых вендоров промышленной автоматизации, что хотя и соответствует современному уровню, но накладывает существенные ограничения на дальнейшее их развитие, тем более при отключении от лицензионного сопровождения.

По утверждению экспертов Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков до марта 2022 года для большинства ИТ-групп импортозамещение представляло собой искусственный процесс, как бы навязанный «сверху», без экономического обоснования. Итог — по информации из кабинета премьер-министра РФ, на июнь 2022 доля российских продуктов не превышала 25%, и классический вопрос: «Что делать?»

Разработка отечественного ПО [2] в настоящее время стала продвигается в ускоренном темпе, и естественный вопрос — возможен ли прогресс в обозримом будущем, т.е. появление программных комплексов для решения основных задач из класса APS и реально замещающих ПО мировых вендоров на этих предприятиях,

Цель доклада — определить специфику этих задач, сформулировать требования к моделям их реализующих, и привести пример программной реализации в виде комплекса взаимосвязанных систем, и созданное специалистами ИТ-группы, имеющих опыт как в разработке, так и в эксплуатации на отечественных предприятиях систем мировых вендоров — RPMS/PIMS/AVEVA.

1. Задачи оптимизационного планирования для НПЗ/НХК и их объединений

Объединения НПЗ/НХК в виде ВИНК включает следующие производственные сектора:

- Upstream — разведка нефтяных залежей и их эксплуатация;
- Midstream — транспортировка нефти и продуктов ее переработки;
- Downstream — переработка нефти, распределение и продажа товарных нефтепродуктов.

Производственный сектор Upstream консервативен в связи с очень высокими затратами на геолого-технологические мероприятия (ГТМ). Объем добычи, как правило, связан с результатами ранее запланированных в году ГТМ, соответственно, для этого сектора в Компаниях принято годовое планирование.

Предположим, что по результатам эксплуатации нефтяных залежей и планам ГТМ Компания в секторе Upstream определила каким ресурсом (количество в тыс. тонн и сырье — тип нефти и/или конденсат) будет располагать на предстоящий год, включая также возможность закупки на рынке.

Общая задача ВИНК — эффективно загрузить сырьевым ресурсом сектора Midstream/Downstream с учетом технико-экономической ситуации так, чтобы получить в них наибольший доход в плановом году и/или на перспективу. Загрузка секторов в плановом году в результате решения общей задачи —

это производственная программа (план) по вложенным периодам, например, месяц, квартал по месяцам, год по кварталам и/или по месяцам [1, 3].

Учет технико-экономической ситуации — это всегда некоторые сценарные предположения (сценарные условия) о развитии ситуаций на производствах и во вне по мере исполнения производственной программы в плановом периоде.

Общая задача ВИНК для секторов Midstream/Downstream имеет большую вариативность, и потому укрупнено разделяется (декомпозиция) на три — рис. 1:

I. Задача размещения сырья: необходимо разместить собственные и приобретенные сырьевые ресурсы по направлениям (с учетом финансово-коммерческих схем):

а. *продажа* в ближнее (таможенный союз) и дальнее зарубежье (куда, сколько, каким маршрутом);

б. *переработка* (на собственных и/или арендованных мощностях с указанием прибыли на одну тонну переработанного сырья).

II. Задача планирования переработки (производства): необходимо разработать план производства товарных продуктов для потребителей на внутреннем рынке и за границу для экспорта с учетом технико-экономической специфики предприятий нефтепереработки/нефтехимии, рыночных ограничений и схем налогообложения на продажу различных групп продуктов.

III. Задача поставки продукции (куда, сколько, каким маршрутом):

а. *первичное распределение*. Необходимо поставить товарную продукцию централизованному потребителю, например, на предприятия нефтепродуктообеспечения-нефтебазы (НПО—НБ), исходя из ее ресурса на производстве, определенного в ходе решения задачи II, и потребностей по различным направлениям в соответствии с договорами Компании с потребителями (указаны объем поставки и цена);

б. *вторичное распределение*. Необходимо поставить товарную продукцию от НПО—НБ потребителю, исходя из имеющегося ресурса (IIIa) и текущей потребности на рынке, как правило, по суткам, например, до АЗС.

Задачи I, II, IIIa строго увязаны и решаются в Компании — результат решения I формирует исходные данные для II, и далее — IIIa, и производства в ВИНК носят непрерывный характер.

Организационно за направление планирования в Компании отвечает, как правило, экономический департамент, где каждую из задач I, II, IIIa ведет свой отдел, поддерживает требуемый уровень ее детализации (агрегирование) и отвечает за корректность решения. Эффективное взаимодействие отделов позволяет итеративно согласовать эти решения, принять их на рабочем комитете Компании и утвердить на уровне руководства как решение общей задачи — I, II, IIIa, рис. 1.

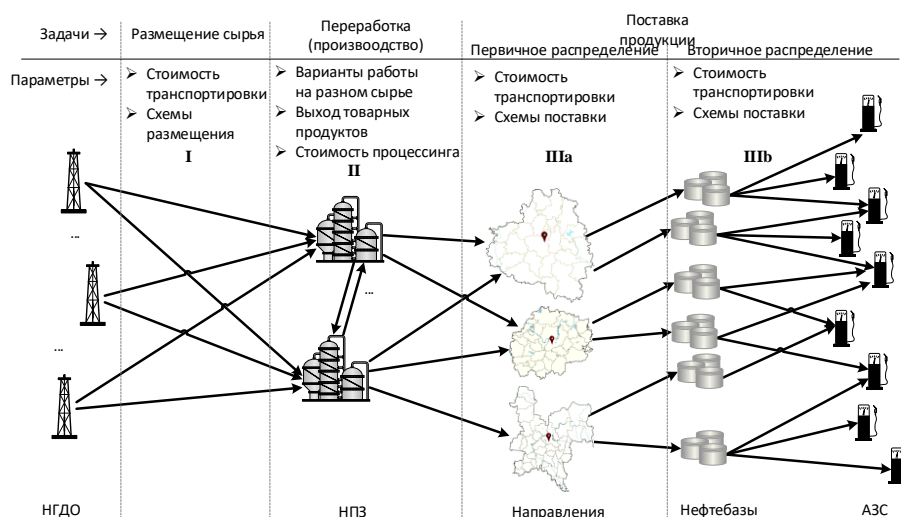


Рис. 1. Общая задача планирования ВИНК

Результат IIIa — это потенциальный ресурс товарных продуктов, которым может располагать каждое НПО—НБ Компании в течение планового периода.

Задача IIIб — это составление ежедневного расписания по распределению ресурса товарных продуктов (решение IIIa), который будет поступать в течение планового периода на НПО—НБ, например, с НПЗ. Распределение товарной продукции потребителю будет проходить в течение суток через конкретную территориальную сеть АЗС с использованием специального автотранспорта и с

учетом транспортной ситуации и инфраструктурных ограничений, что указывает на исключительно целочисленный характер задачи.

Задачи I, III описывают движение потоков и перераспределение между объектами, а II — их технологическое преобразование в товарную продукцию в соответствии с потребностью рынков. Все потоки типа сырье, полуфабрикаты, товарные продукты характеризуются количеством (объем, масса) и свойствами (плотность, содержание серы и др.). Для ведения производственных процессов в I—III требуются вспомогательные материалы, энергия и др., которые также являющиеся потоками, их необходимо учитывать при построении модели, т.к. именно они определяют затраты, объем которых, например, для задачи II составляет не менее 50%.

Задачи I—IIIа можно объединить в одну модель, например, линейного программирования — ЛП-модель. Для этого требуется повысить уровень агрегирования модели, особенно для задачи II, заменив свойства потоков на тип, например, сырье — нефть Urals, а товарный продукт — А-95. В результате в полученной ЛП-модели переменными являются потоки только с количественной характеристикой — масса, а коэффициенты и ограничения — технико-экономические параметры производственных объектов и условия взаимодействия с внешним окружением. Наличие подобной упрощенной ЛП-модели важно, например, когда резко изменяется рыночная ситуация, как было на первом пике пандемии (весна 2020), или при включении Компании в блок санкции на поставку сырья и продукции (весна 2022). В этих случаях может потребоваться резко перераспределить направления потоков сырья от типового, изменить загрузку предприятий и поставки товарных нефтепродуктов потребителям, а решение по объединенной модели могло бы подсказать направление поиска. Тем самым это позволило бы ускорить решения общей задачи в ходе взаимодействия отделов департамента Компании.

2. Требования к моделям — решение задач I—III

1. Типы моделей для решения общей задачи I—III и каждой из них с отражением специфики:

- Задачи I—III имеют большую вариативность и размерность, при этом I—IIIа трактуются как непрерывные, а IIIб — как дискретная, большинство ее потоков имеют целочисленные значения, например, поставка продукции партиями.
- Задачи I, IIIа, где требуется распределить потоки между терминалами поставщика и потребителя, а потоки характеризуются количеством, например, масса — тонн для задачи I и/или объем — м³ для IIIа, и типом сырья, а для товарного продукта указывается марка, и учитывается набор технико-экономических показателей (ТЭП) для вариантов их транспортировки. В таком подходе получаем линейность модели в оптимизационной постановке с нормируемыми коэффициентами в виде ТЭП с требуемым уровнем их детализации, которые фиксируются в технических требованиях на разработку модели. При этом необходимы утвержденные методики для расчета нормируемых коэффициентов ТЭП для различных вариантов распределения потоков.
- Задача II, где поступившее сырье требуется переработать на предприятии в товарную продукцию, т.е. необходимо учитывать для потоков наряду с количеством (объем, масса) и их свойства для производства из них необходимого ассортимента товарных продуктов, соответствующих требованиям ГОСТ/ТУ/СТП. В итоге задача II в оптимизационной постановке будет иметь большую размерность, наряду с линейными уравнениями включает также элементы нелинейности, а иногда и требования целочисленности для ряда потоков. Из-за наличия нелинейности решение задачи II может быть найдено в виде локального оптимума, например, методом последовательного линейного программирования. Целесообразно применение процедур перебора локальных оптимумов задачи II для приближения к глобальному, если имеющиеся погрешности в ее исходных коэффициентах незначительны, например, известна какая нефть поступит в плановый период на переработку и представлены ее детальные свойства из лаборатории.
- В результате модели должны обеспечить следующее:
- оптимизационное моделирование производств нефтепереработки и нефтехимии для формирования одно- и многопериодных планов на текущий и/или долгосрочный отрезок времени;
- решение задач оптимального выбора сырья разного качества с оценкой эффективности его переработки при имеющейся технологической цепочке производственных процессов и заданном рыночном спросе на продукты;
- проведение технологических расчетов для определения оптимальных загрузок установок первичной и вторичной переработки нефти; оптимальных технологических режимов работы

установок, в том числе с учетом различной структуры отбора продуктов; оптимальных рецептур смешения компонентов; оптимальных вариантов модернизации объектов ОЗХ;

- многозаводское моделирование с автоматизированным включением детальных однозаводских моделей или их упрощенных версий для создания единой модели для решения задачи глобальной оптимизации: размещение сырья от поставщиков; переработка на собственных или сторонних мощностях; поставка продукции конечным потребителям;
- инвестиционное планирование технологической реконструкции и техперевооружения — подготовка Мастер-планов и ТЭО, например, с учетом результатов бенчмаркинговых исследований.
- Задача ШБ из-за явной целочисленности на суточном интервале решается в имитационной постановке, но с применением, например, алгоритмов Дейкстры, т.е. предполагает применение специализированных программных средств.

Итак, общая задача I—III планирования на интервал месяц и более в ходе декомпозиции представляется в виде совокупности оптимизационных моделей с требуемым уровнем агрегирования (детализации): I, Ша — линейные, II — линейная с элементами нелинейности и целочисленности, и каждая из трех может быть многопериодная задача, а ШБ — линейная целочисленная, но с имитационным «движком» для получения суточного плана и расписания его по часам.

Утверждение «требуемый уровень детализации» означает, что полученный результат моделирования позволит экономическому департаменту обосновать план перед руководством Компании и принять эффективное управленческое решение для выбранного периода планирования.

Решить задачу I—III планирования на интервал месяц и более без декомпозиции как оптимизационную модель возможно, но потребуются существенно повысить уровень агрегирования модели. Результат решения в этом случае должен рассматриваться как оценка плана размещения сырья по объектам, переработка и предполагаемые направления поставки полученных товарных продуктов, и являться рекомендацией для выбора вариантов решения с декомпозицией.

Генерация оптимизационных моделей для задач I—Ша столь сложной структуры (наличие нелинейностей целочисленности и высокая размерность) предполагает для их решения использовать стандартные пакеты математического программирования.

2. Сценарные условия и подготовка данных для моделей

Подготовка производственной программы на плановый период (т.е. на перспективу до его начала) с использованием модели всегда предполагает принять некоторые сценарии развития ситуации на производствах и во вне по мере исполнения плана. Приняв вариант сценариев, переходят к подготовке данных для модели, соответствующих предполагаемому развитию событий внутри предприятия и во вне.

Сбор данных, контроль и обновление модели в соответствии со сценарными представлениями необходимо осуществлять в автоматизированном режиме, что потребует принять во внимание оснащенность системами нефтеперерабатывающее предприятие.

Естественно, что в ходе исполнения плана развитие ситуации может пойти по другому сценарию, что может не позволить его выполнить. Таким образом для этого случая должны иметься две возможности — получать оценку, например, будет ли план выполнен до конца периода или нет, и располагать утвержденной процедурой его корректировки. Процедура предполагает наличие правила согласования с руководством события «План не будет выполнен» и модели для проведения корректировки плана.

3. Свойство вложенности планов

Вложенность плановых периодов также предполагает увязку планов. Соответственно должны задаваться решающие правила, определяющие шаги по корректировке вложенных планов при их расхождении. Примером вложенных планов задачи II на месяц является календарный план по суткам, а для суток — расписание по часам на 24 часа.

Наличие систем для формирования календарного плана производства позволяет также получать оценку относительно выполняемости плана на месяц и соответственно по вложенности выше для квартала и года.

Из сказанного следует, что для реализации задач I—III требуется комплекс взаимосвязанных систем, и как иллюстрацию приведем отечественный СМ-Комплекс с описанием структуры и функциональности его основных блоков. Ряд систем из СМ-Комплекса прошли стадии внедрения и уже эксплуатируются в режиме замещения, что подтверждает высокий уровень компетентности разработчиков и консультантов из ИТ-группы.

3. Пример программной реализации — СМ-Комплекс

Системы реализуют задачи I—III в автоматизированном режиме, ключевой из них является **СМНР** — Система Моделирования Производства нефтепереработки и нефтехимии — эффективное современное средство оптимизационного потокового моделирования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств, предназначенное для использования основными службами НПЗ/НХК и управляющими ими компаниями.

Применение **СМНР** решая задачу II, позволяет предприятиям нефтепереработки и нефтехимии:

- **руководству предприятия** обеспечить необходимый уровень плановой и технологической дисциплины на производстве; прогнозировать стратегию развития производства; определять инвестиционную политику на перспективу.
- **плановому отделу** рассчитывать оптимальный план работы производства на одном или нескольких временных интервалах с учетом общей технологической схемы предприятия, качества поступающего сырья и запасов, требований по качеству к полуфабрикатам и товарной продукции; проводить все необходимые расчеты по процессингу сырья на технологических установках; формировать отчеты.
- **технологическому отделу** моделировать и проверять корректность различных вариантов модификации технологической схемы производства; рассчитать распределение производственных потоков с учетом оценки качества сырья, полуфабрикатов и товарных продуктов; оценивать величины заполнения межцеховых и товарных запасов; учитывать при планировании переменные нормы расхода энергоресурсов от нагрузки; представлять результаты в удобном для анализа виде (таблицы, схемы, графики).
- **службе снабжения и сбыта** формировать политику хранения и учета запасов сырья, присадок, реагентов, параллельно решая вопросы их своевременного приобретения; формировать план поставок товарной продукции потребителям с учетом спроса и динамики цен на рынках.

Работа пользователей в **СМНР** упрощена за счет автоматизированного подхода к верификации и преобразованию исходных данных, к моделированию технологических процессов. Расчет различных вариантов работы установок проводится в автоматическом режиме с протяжкой показателей качества по всей схеме переработки — от сырья до товарной продукции, с использованием нелинейных подмоделей процессов для формирования полной технико-экономической картины производства. Для решения нелинейной оптимизационной задачи используется метод последовательного линейного программирования, а при возникновении дискретных переменных, например, из-за логистических ограничений по отгрузке товарной продукции или загрузки установок, система автоматически подключает модуль смешанного целочисленного программирования (MIP).

Средства моделирования системы снабжены графическим объектно-ориентированным интерфейсом пользователя. В различных диалоговых окнах пользователь может создавать и редактировать модель с использованием графической схемы, задавать свойства объектов модели, работать с табличным представлением данных, анализировать результаты решения в виде текстовых протоколов и отчетов в форматах HTML и EXCEL или его аналогом.

При поставке системы пользователю предоставляются библиотеки по нефтям и процессам нефтепереработки, нефтехимии и химии (по умолчанию используются стандартные метрические единицы измерения).

СМНР позволяет нефтеперерабатывающим и нефтехимическим предприятиям, а также ВИНК добиваться максимальной прибыли за счет использования современных средств оптимизации и учета технико-экономических параметров, влияющих на деятельность предприятий.

Российские разработчики системы обеспечивают ее внедрение на объекте и предоставляют пользователям программную, консультативную и методическую поддержку в ходе эксплуатации системы, а также набор программных опций, например, СМНР-Сервис и СМНР-Интеграция.

СМНР-Сервис в автоматизированном режиме обеспечивает настройку модели СМНР реализует следующие функции:

- изменение норм расхода утилит и реагентов в подмоделях установок в процессе решения модели для случая зависимости от их загрузки, например, при учете потребления энергии;
- расчет выходов и качества дистиллятов для таблицы с вариантами структуры фракций дистиллятов подмоделей первичной переработки;
- копирование (вырезание) из основной модели нелинейных подмоделей во вспомогательную модель для их последующей ручной настройки и/или анализа.

СМПР-Интеграция обеспечивает взаимосвязь СМПР с системами класса ERP, например, 1С. Обеспечивает двунаправленную передачу данных между СМПР и системой 1С посредством файлов требуемого формата. Позволяет передавать из модели в 1С преобразованные данные решения (плана): покупки, продажи, сырье и продукты установок, смешение продукции и т.д. Позволяет загрузить из систем 1С в модель данные о ценах на товарно-материальные ценности и т.п.

Дополнительно пользователь также может использовать системы поддержки СМПР для ведения данных по поступающим на переработку нефтей и получении оценки свойств потоков:

СМ-Нефть для ведения БД по свойствам сырых нефтей и преобразования данных. Позволяет:

- вводить и хранить данные по свойствам сырых нефтей в БД;
- производить смешение нефтей из БД с расчетом свойств полученной новой нефти;
- для образца нефти подбирать аналог из БД по ряду его свойств;
- разрабатывать данные по выходам и свойствам нефтяных фракций, в частности, для передачи данных в СМПР.

СМ-Калькулятор для оценки основных физико-химических свойств нефти и ее фракций:

- Оценка показателей качества — плотность от температуры, вязкость, К-фактор и т.п.;
- Расчет нелинейного смешения компонент и индексов смешения;
- Пересчет единиц измерения показателей качества;
- Пересчет кривых разгонок Энглера (ГОСТ 2177-99) <-> ИТК (ГОСТ 11011-85).

Возможность получения оценок свойств потоков позволяет упростить актуализацию моделей в среде систем типа СМПР и СМ-Микс — оперативное смешения товарных нефтепродуктов [4].

В свою очередь, службам ВИНК применение СМПР, во взаимодействии с другими системами СМ-Комплекса — СМ-Размещение/СМ-Сбыт/СМ-Тотал, позволяет, обеспечивая необходимый уровень агрегирования(детализации), оптимизировать всю логистическую цепочку поставок (размещение сырья на продажу и на переработку, распределение нефтепродуктов по потребителям), осуществлять технологический и коммерческий контроль деятельности дочерних предприятий.

СМ-Размещение для решения на уровне Компании в оптимизационной постановке задачи планирования размещения сырья на экспорт и переработку.

Позволяет построить в автоматизированном режиме оптимизационную потоковую модель в виде ЛП-модели размещения сырья между терминалами поставщиков и потребителей, и решить её, найдя максимум маржинальной прибыли с учетом реализации товарной продукции с тонны сырья («съем» с тонны), стоимости процессинга при поставке сырья на переработку, доли Компании в финансовой схеме поставки (комиссия и т.д.), транспортных тарифов и пр.

СМ-Сбыт для решения задачи планирования поставок товарных продуктов от их производителей до дочерних НПО в рамках первичной логистики на уровне Компании.

Система формирует модель в оптимизационной постановке и рассчитывает план поставок товарных продуктов по заявкам на них, исходя из имеющихся ресурсов, а также заданных цен, правил расчета налогов, учета транспортных тарифов, коммерческих затрат и пр.

СМ-Тотал для многозаводского моделирования с использованием специального генератора, реализующий задачи I—III в обобщенной ЛП-модели с повышением уровня агрегирования.

Заводские ЛП-модели перед их включением в обобщенную ЛП-модель проходят процедуру экспорта, включающую ряд преобразований. Это вызвано необходимостью привести заводские СМПР-модели к «общему знаменателю», поскольку каждая из них имеет свои особенности, так как разрабатывается и сопровождается разными пользователями на разных НПЗ/НХК.

В процессе экспорта заводские ЛП-модели преобразуются — линеаризуются, а многопериодные приводятся к однопериодным моделям с использованием специализированных опций. Процедура должна выполняться автоматизировано, поэтому требуются предварительные настройки и контроль со стороны пользователя. Вид структуры обобщенной ЛП-модели — рис.2.

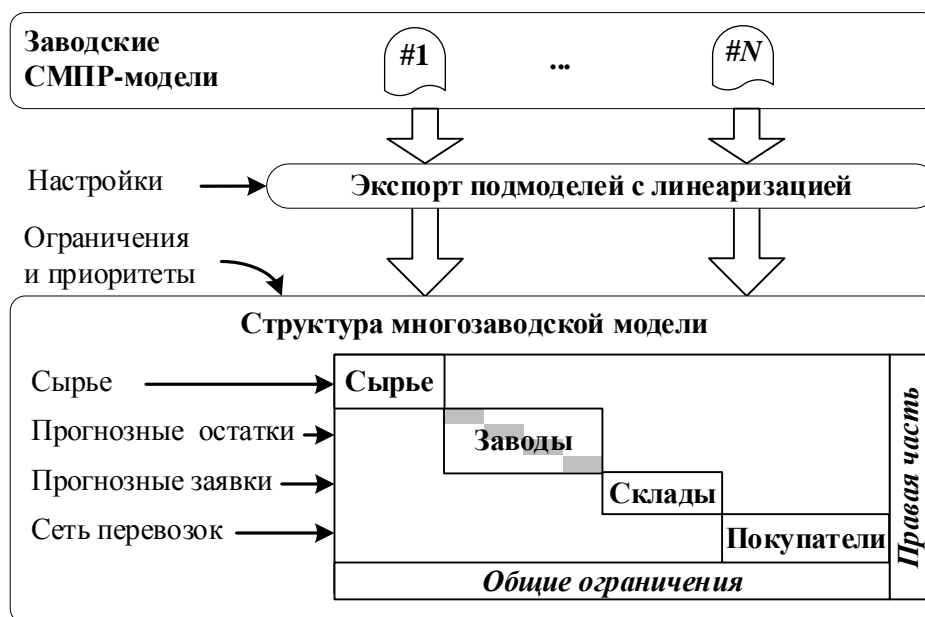


Рис. 2. Структура многозаводской ЛП- модели в среде CM-Тотал

Полученное решение на CM-Тотал определит основные направления размещения сырья — на экспорт и переработку, загрузки заводов и поставки товарных продуктов на внешние и внутренние рынки сбыта. Такой подход с последующей их детализацией на цепочке — CM-Размещение/СМПР/СМ-Сбыт ускорит получение согласованного решения задачи I-Ша, в случае, например, когда резко изменяется рыночная ситуация из-за введения санкций.

В итоге структура CM-Комплекс для ВИНК следующая — рис.3

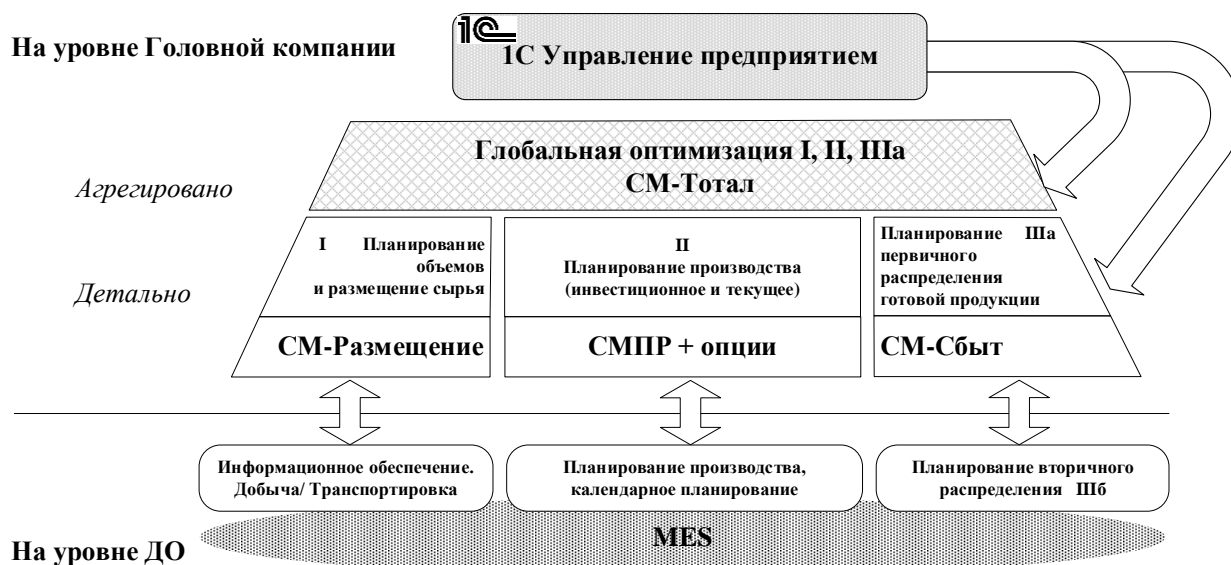


Рис. 3. Комплекс интегрированного планирования для ВИНК

Системы CM-Комплекса встроены в существующую структуру ВИНК. Указаны задачи двух уровней управления ВИНК, названия используемых систем и номера «задач» — I, II, Ша.

Наряду с указанными системами из CM-Комплекса для непрерывных производств, имеется и система — CM-Шина эффективно эксплуатируемой на шинном производстве — дискретное производство массового характера, Нижнекамскшина [5].

CM-Шина обеспечивает построение оптимизационной модели и нахождении ее решения в виде планов производства и поставок готовой продукции, а также — плана соответствующих закупок энергии, сырья, материалов и комплектующих изделий, когда:

- учтены ограничения, вытекающие из условий реализации произведённой продукции и условий закупки используемых в производстве ресурсов (сырья, материалов, комплектующих и

энергоносителей), а также — ограничения, вытекающие из технологических возможностей производства.

- достигается максимум технико-экономического критерия оптимальности.

Общепринятым объективным критерием для оценки результатов деятельности предприятия этого типа является маржинальная прибыль **Z**, рассматриваемая как разность плановой выручки от реализации произведенной продукции **Q**, затрат, связанных с необходимыми для производства закупками сырья, материалов, комплектующих изделий и энергоносителей **P**, и затрат на сдельную оплату труда **L**:

$$Z = Q - P - L \rightarrow \max$$

При этом речь идет об условно-переменных затратах, т.е. той части затрат, которая зависит от объемов производства, закупок и поставок. Условно-постоянные затраты, при прочих равных условиях, не зависящие от объемов производства и поставок, при оптимизации как правило не рассматриваются.

СМ-Шина встроена в следующую производственную ИТ-структуру—рис.4.

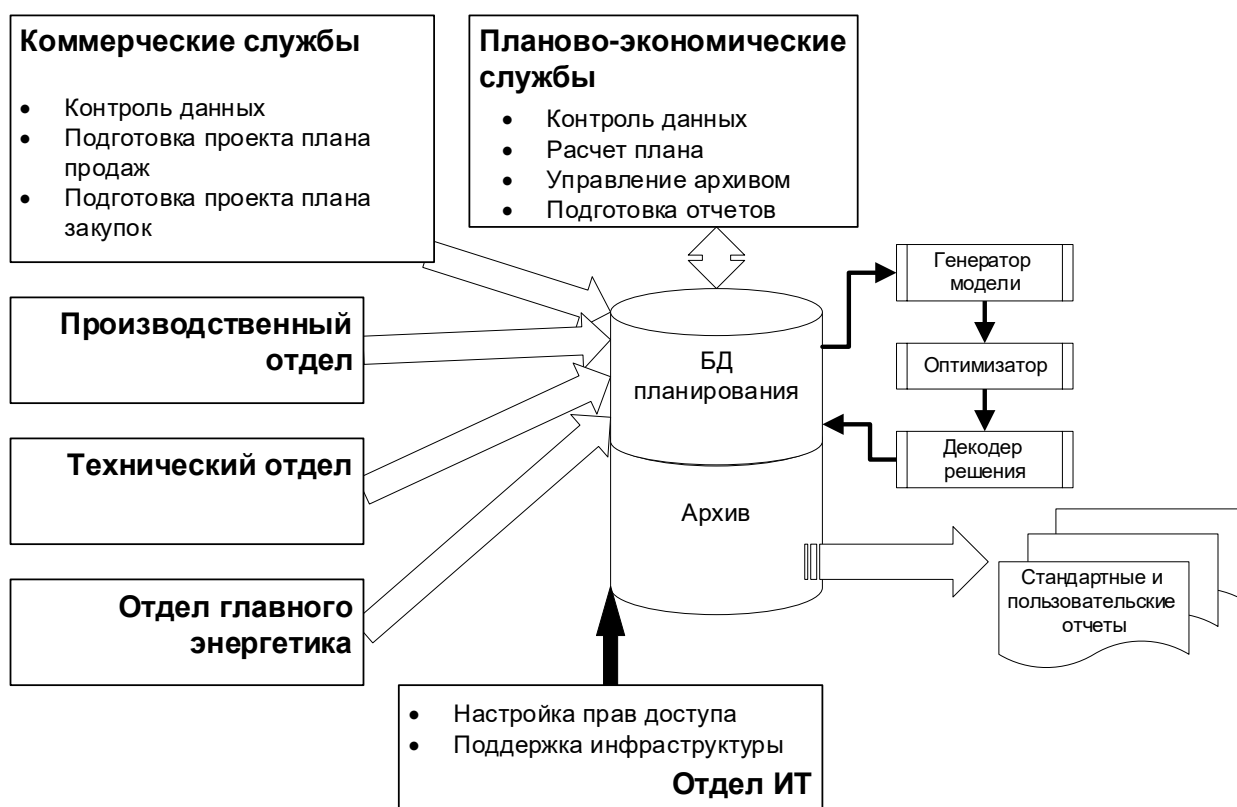


Рис. 4. Функциональная структура СМ-Шина

Отметим, что рассмотренный класс систем СМ-Комплекса может успешно применяться и для управления нефтехимических кластеров [6].

4. Стандартные пакеты математического программирования

Системы СМ-Комплекса в оптимизационной части для получения решения интегрированы со стандартными пакетами оптимизации. В качестве пример приведем следующие:

- **MIP (Mixed-Integer Programming)-решатели:** Gurobi, CPLEX, XPRESS (компания FICO) — табл. 1, CBC, SCIP и др. CP — Constraint Programming; Gurobi — решатель с параллельными алгоритмами для крупномасштабных линейных программ, квадратичных программ и смешано-целочисленных программ — бесплатно для академического использования ¹[7].

¹Доступно по ссылкам:

[https://wikicsu.ru/wiki/linear_programming#Solvers_and_scripting_\(programming\)_languages;](https://wikicsu.ru/wiki/linear_programming#Solvers_and_scripting_(programming)_languages;)
<https://sourceforge.net/projects/lpsolve/> и <http://lpsolve.sourceforge.net/>

- **Sage** (англ. «мудрец») — система компьютерной алгебры, покрывающая много областей математики, включая алгебру, комбинаторику, вычислит. математику и матанализ. Версия Sage 1.0 была выпущена 24.02.2005 — свободное ПО с лицензией GNU GPL.
Для представления о временных характеристиках оптимизаторов — см. таблицу 1.

Таблица 1 Пример результатов решения ЛП-моделей

№ расчета	Тип модели	Размерность задачи ЛП				Время прогона, мм:сс	
		Кол-во строк	XPRESS	Кол-во ненулевых элементов	Кол-во целочисл. переменных	OSL	XPRESS
1	ОП	977	1 944	9 630	—	00:17	00:21
2	ОП	1 764	2 618	15 331	—	00:59	00:51
3	ОП	2 255	3 466	17 648	—	00:58	00:59
4	ОП	2 472	3 751	20 378	—	00:54	00:52
5	ОП	3 260	4 494	28 265	—	01:54	01:53
6	МП	4 921	8 072	40 830	—	02:40	02:30
7	МП	8 583	13 232	69 871	—	12:52	05:35
8	МП	20 310	27 128	240 376	—	12:00	04:42
9	МП+ЦЦП	1 698	3 581	18 126	54	09:30	01:18

Примечания [7]:

- ОП и МП — однопериодная и многопериодная модель;
- МП+ЦЦП — многопериодная модель с рядом целочисленных переменных.
В основном системы математического программирования — это стандартные пакеты западных вендоров и также актуален вопрос их замещения.

6. Заключение

- Задачи I—IIIa для ВИНК должны решаться только в комплексе, как последовательность трех взаимосвязанных оптимизационных моделей с необходимым уровнем детализации, так и существенно агрегировано как единая оптимизационная модель.
- Каждая из систем из линейки мировых вендоров — RPMS/PIMS/AVEVA разрабатывалась в течение длительного времени и эволюционно, и не только! Например, ведущий специалист в консалтинговой фирме Bonner&Moore сначала создавал RPMS, а потом перешел в компанию «Бектэл», где, собрав ИТ-группу, создал конкурентную систему — PIMS. Структурно они очень похожи.
- Из пп. 1, 2 следует: разработать программный комплекс для решения задач I—IIIa ИТ-группой, не имеющей опыт разработки в этом классе реально работающих на объекте систем, т.е. «с нуля» практически не осуществимо.
- Внедрение систем, эксплуатируемых в автоматизированном режиме на производствах такой сложности и дающие рост их эффективности, предполагает наличие апробированной методологии [8].
- Эксплуатация этих систем предполагает их сопровождение со стороны разработчика, что включает — техническую поддержку в виде устранения некорректностей в ПО и обновление версий, а также консалтинг по поддержке моделей и регулярная переподготовка пользователей.
- Нефтяная отрасль является одной из ключевых в РФ, и соответственно, наряду с созданием современных отечественных моделирующих комплексов необходима разработка и стандартные пакеты, реализующие системы математического программирования.

Литература

1. Хохлов А.С., Коннов, А.И., Зельдин А.Е. Системы оптимизационного планирования и опыт внедрения и эксплуатации их в ВИНК. Автоматизация в промышленности, №10. — М.: ООО Изд. дом "ИнфоАвтоматизация", 2009. — 4 с.
2. Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. — М.: Энергия, 1979. — 272 с.
3. Баулин Е.С., Хохлов А.С., Ратьковская М.А. Оптимизационные модели планирования и управления ВИНК. Учебное пособие. — М.: ИЦ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2022. — 119 с.
4. Аносов А.А., Ефитов Г.Л. Оптимальное управление компаундированием топлив-задачи, решения, опыт в России. Автоматизация в промышленности, №4. - М.: ООО Изд. дом "ИнфоАвтоматизация", 2015. — с. 15—21.

5. *Артемов 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.
6. *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
8. *Kurt Spielberg* The Optimization Systems MPSX and OSL [Электронный ресурс] // In book: Modeling Languages in Mathematical Optimization (pp.267-278), DOI:10.1007/978-1-4613-0215-5_14
9. *Хохлов А.С., Д.Ю. Мишутин, Е.С. Баулин* Методологические аспекты реинжиниринга моделей НПЗ/НХК //Автоматизация в промышленности, М., ООО Изд. дом «ИнфоАвтоматизация», 2021, №8. — с. 10—19