

## ОПТИМИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПЕРСПЕКТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИИ

Ю.Р. Шишорин (АО «Хоневелл»), Ю.М. Цодиков (ИПУ РАН),  
Н.В. Мостовой, Т.С. Аксенова (ООО «Центр цифровых технологий»)

Освещаются вопросы оптимизационного моделирования при решении задач автоматизации планирования верхнего уровня – перспективного планирования для нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Рассмотрены модели долгосрочного планирования, показана возможность их разработки на основе моделей текущего планирования. Приводятся примеры практического использования оптимизационных моделей при разработке стратегий и программ развития производств.

**Ключевые слова:** перспективное планирование, автоматизация задач планирования, долгосрочные программы развития, ЛП-моделирование, технологические модели развития, оптимизационные нелинейные модели, оценка инвестиций, финансово-экономические модели, бенчмаркинг-исследования, информационные технологии.

### Введение

Рассмотрим применение единого методологического подхода, моделей и методов перспективного планирования производственных систем химико-технологического типа, используемым на практике в АО «Хоневелл» и совместно развиваемым ООО «Центре цифровых технологий» и ИПУ РАН. Основная проблема состоит в выборе лучшего варианта реконструкции и развития НПЗ, включая новые технологические процессы и перспективную схему завода, а также в разработке плана реализации выбранного варианта, учитывающего технологические и финансовые ограничения инвестиционного процесса. Эта сложная задача оптимизации актуальна в современных условиях развития отрасли ввиду значительной стоимости и больших сроков реконструкции.

За последние 20 лет нефтегазовая отрасль России претерпела существенные изменения, по масштабам соизмеримые с преобразованиями, произошедшими в стране в целом. В современных условиях цифровизации промышленного производства и начала распространения промышленного Internet вещей (IIoT) значительно возросла значимость и роль комплексного подхода к решению задач автоматизации планирования и управления производством.

Важнейшим инструментом перспективного планирования модернизации нефтеперерабатывающих (НПЗ) и нефтехимических предприятий (НХП) является программное и информационное обеспечение разработки долгосрочных планов развития (на 5...10 лет и более), построенное с учетом взаимосвязи задач разного уровня (рис. 1) и автоматизации информационных процессов. Статья основана на опыте решения задач перспективного планирования развития и функционирования объектов нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса.

Основой построения инструментов комплексного перспективного планирования служат оптимизационные модели, учитывающие химико-технологическую специфику производства. Взаимосвязь технологической и финансово-экономической модели в процессе проведения исследований осуществляется через модуль коррекции технологических данных, при этом часть исходных технологических данных поступает из имитационных моделей отдельных технологических процессов. Информационные связи задач при перспективном планировании производства показаны на рисунке стрелками. Российское подразделение корпорации Honeywell — компания АО «Хоневелл» при поддержке ООО «Центр цифровых технологий» использует такой подход при решении задач перспективного, краткосрочного и текущего планирования для предприятий нефтеперерабатывающего комплекса на базе современных информационных технологий.

Модернизация НПЗ и НХП России и стран СНГ в начале нового века была направлена на одновременное достижение нескольких глобальных целей [1, 2]. Во-первых, необходимо было выбрать оптимальный уровень производительности предприятий и максимально увеличить

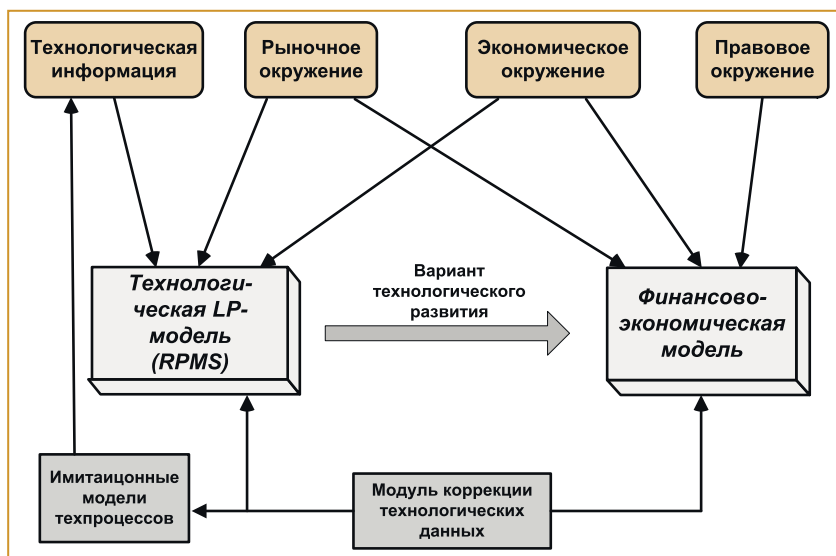


Рис. 1. Информационные связи задач разного уровня управления

глубину переработки и производство светлых нефтепродуктов с учетом варьирования видов перерабатываемых нефтей. При этом нужно было привести качество нефтепродуктов в соответствие с европейскими стандартами EURO4 и EURO5, улучшив тем самым показатели эффективности и повысив конкурентоспособность НПЗ и НХК на международном рынке. Во-вторых, дальнейшее развитие нефтепереработки и нефтехимии видится в развитии нефтехимического производства на НПЗ. Наконец, важным этапом развития НПЗ было создание для выбранной перспективной конфигурации завода интегрированных автоматизированных систем среднесрочного и краткосрочного планирования (APS) и оперативного управления производством (MES) [3–4].

Методологический подход к разработке долгосрочных программ развития НПЗ, лежащих в основе решения задач перспективного планирования, подробно представлен в [5]. При этом наиболее интересным с научной и практической точки зрения являются исследования возможных вариантов развития и бенчмаркинг-анализ выбранного оптимального варианта.

Спецификой проведения технологических исследований является необходимость корректного расчета действующего производства и учет эффектов, возникающих при его развитии и расширении, а также (в общем случае) многокритериальный выбор варианта развития. В последние годы ведущие нефтяные компании России проявляют повышенный интерес к бенчмаркинг-исследованиям своих действующих НПЗ и НХП, а также к оценке влияния на энергопотребление реализации долгосрочных программ развития и программ повышения эффективности производства [6].

Моделирование реконструкции и развития НПЗ состоит из двух частей: (1) моделирование вариантов технологической схемы предприятия для каждого этапа программы развития, включая новые или реконструируемые процессы; и (2) моделирование инвестиционного процесса с учетом всех затрат, движения денежных средств, получения кредитов, времени на реконструкцию и строительство. В статье рассматриваются оптимизационные модели схем предприятия. Реконструкция и строительство моделируются по этапам с учетом экономических возможностей компании, работы других производств завода, качества выпускаемой продукции, графика плановых капитальных ремонтов действующих установок.

Выбор оптимального варианта технологического развития НПЗ/НХК на 5...10 и более лет осуществляется с учетом многокритериального финансово-экономического анализа. Основой для комплексного исследования служат оптимизационные модели. Для программы развития модели разрабатывают с учетом прогноза налогов, экспортной пошлины, цен, валютного курса и других макроэкономических условий. Оптимизационные модели включают данные существующей технологической схемы, качество нефти, качество товарной продукции, производительность установок, производительность объектов общезаводского хозяй-

ства (ОЗХ), энергетические затраты, возможности вспомогательного производства и т. п. Для новых процессов учитываются проектные данные. Модели разрабатывались с помощью системы RPMS [7], и ниже рассматриваются этапы разработки моделей.

#### Базовая модель завода

Вариант развития завода для определения эффективности необходимо сравнить с базовой моделью, в которой не предусмотрено развитие. Такая базовая модель разрабатывается на основе текущего состояния производства. Обычно для этого берется существующая модель планирования, утвержденные нормы затрат и другие данные, полученные при обследовании завода. Разработка базовой модели является наиболее трудоемкой частью работы, а модель развития создается на основе базовой модели.

Модель завода включает технологическую схему, подмодели существующих технологических процессов, качество сырья, требования к качеству товарных продуктов, цены на сырье, продукты, энергоносители и вспомогательные материалы. В базовой модели завода для целей реконструкции не учитываются производственные ограничения, которые важны только для текущей работы.

Базовая модель может рассчитываться для года или для каждого периода программы развития, так как по этим периодам может сравниваться эффективность программы развития и базовой модели. В расчетах базовой модели каждого периода будут отличия, вызванные прогнозируемыми изменениями ситуации. Например, для завода российской компании учитываются изменения следующих данных: цен, рыночных ниш по продуктам, увеличение плотности нефти, обязательства по производству продуктов.

Модель разрабатывается на основе технологической схемы завода; нормативов работы установок и достигнутых показателей; отчетов о фактической работе завода за предыдущий год; отчетов о качестве сырья установок и компонентов товарных продуктов.

Модель завода включает подмодели установок, смешения нефтепродуктов, объектов ОЗХ, а также данные о составе и свойствах нефти. Ниже рассматриваются особенности идентификации указанных трех типов подмоделей с учетом ограниченного объема данных по каждому объекту завода.

Для нефти и газового конденсата учитывается плотность, содержание серы и физико-химические свойства фракций. Для каждого вида сырья установок и нефтепродуктов — газов, бензинов, керосина, дизельных фракций, газойлей, гудрона и мазута — в модели учитываются соответствующие физико-химические свойства и показатели качества.

#### Моделирование состава нефти и установок первичной переработки (АВТ)

Моделирование состава нефти по фракциям и физико-химические свойства фракций нефти являет-

ся наиболее сложной задачей при моделировании НПЗ. Базовая модель может разрабатываться в условиях, когда (1) содержание фракций нефти определяется по текущим анализам нефти в заводской лаборатории или (2) содержание фракций нефти определяется данными о месторождении. В первом случае по анализам определяется усредненная кривая истинных значений температуры кипения (ИТК) нефти до 500°C. По ИТК определяют потенциальное содержание светлых нефтепродуктов, которые выкипают при температуре до 350°C. По отчетам о работе установки за месяц определяют фактический отбор светлых нефтепродуктов, и при значительных отклонениях данные дополнительно проверяются.

При отсутствии на заводе данных физико-химических анализов свойств узких фракций нефти эти свойства при моделировании завода определяются по аналогам, или свойства задаются для продуктов, которые получают на АВТ. Поэтому важно при разработке базовой модели использовать библиотеку нефти различных месторождений, которая содержит свойства узких фракций.

#### Модели установок вторичной переработки

Модели установок вторичной переработки (риформинга, гидроочистки, крекинга и др.) строят на основе плановых нормативов и фактических данных. По фактическим данным получают зависимости выхода продуктов от количества сырья вида:

$$y_i = a_i(q_i)x, \quad (1)$$

где  $y_i$  — выход продукта  $i$ ,  $x$  — общее число сырья установки,  $a_i(q_i)$  — коэффициенты выхода  $i$ -го продукта, определяемые по отчетным данным,  $q_i$  — значение такого  $i$ -го показателя качества сырья, от которого зависит выход продукта. Для продуктов установок учитывается зависимости показателей качества продуктов от качества сырья, например, зависимость плотности продукта от плотности сырья. Такие зависимости качества продукта от качества сырья приводят к общей нелинейной модели завода. В свою очередь качество сырья установки может определяться составом смеси нескольких видов сырья.

При разработке нелинейных моделей установок принимаются во внимание следующие показатели качества сырья для ряда технологических процессов. Для гидроочисток дизельного топлива и вакуумного газойля необходимо учитывать количество серы в сырье. Модель строится с учетом материального баланса по количеству серы, что приводит к нелинейности за счет зависимости выхода продукта от содержания серы в сырье. Для модели риформинга может учитываться содержание нафтенов и ароматических углеводородов в сырье. В этом случае модель риформинга будет нелинейной для того, чтобы адекватно описать фактические отборы целевого продукта. Подмодель каталитического крекинга строится с учетом различных выходов продуктов для различного сырья. Кро-

ме того, учитывается необходимость выполнения материального баланса по содержанию серы в сырье и продуктах. Для выполнения материального баланса в модель вводятся соответствующие зависимости для содержания серы в каждом продукте крекинга, что также приводит к нелинейным моделям.

Технологические установки с целью упрощения могут моделироваться линейными зависимостями выхода  $i$ -х целевых продуктов  $y_i$  из  $j$ -го вида сырья в количестве  $x_j$  с различными коэффициентами выхода  $a_{ij}$  для  $j$ -го вида сырья установки:

$$y_i = \sum_j a_{ij} x_j. \quad (2)$$

Однако при этом в модели (2) остаются параметры  $a_{ij}$ , описываемые в общем случае нелинейными зависимостями показателей качества продуктов установки от качества сырья, что снова приводит к общей нелинейной модели завода [8, 9]. Каждая установка описывается отдельной Excel таблицей.

Котельные завода, системы оборотного водоснабжения, подача технологического топлива, компрессорные и другие объекты ОЗХ моделируются аналогично технологическим установкам, но такие модели проще.

#### Модели смешения нефтепродуктов

Для каждого потока компонентов смешения нефтепродуктов: газов, бензинов, керосина, дизельных фракций, газойлей, мазута в модели учитываются соответствующие показатели качества. Базовая модель включает подмодели смешения товарных нефтепродуктов и смешения сырья установок завода. Реальные схемы перекачек сырья установок и компонентов товарных нефтепродуктов достаточно сложные. В базовой модели нет смысла учитывать всю сложность маршрутов перекачек, которые возможно учитываются в текущей модели оперативного планирования производства. За счет этого модели смешения товарных нефтепродуктов можно упростить, считая, что каждый компонент с установки может подаваться в товарный нефтепродукт. В базовой модели можно также объединить товарные нефтепродукты, которые незначительно отличаются по качеству, например, бензины для нефтехимических производств, которые отличаются техническими условиями (ТУ) для разных потребителей.

Некоторые показатели смесей, в том числе вязкость мазута, рассчитываются по индексам. Идентификация модели вязкости по индексам имеет определенные особенности, которые показаны ниже на примере расчета вязкости мазута [10]. Индекс вязкости этого компонента определяется по нелинейной логарифмической формуле:

$$I_i = a_0 - a_1 \log(\log(k_i v_i + 0,8)), \quad (3)$$

где  $v_i$  — кинематическая вязкость  $i$ -го компонента в сСт,  $I_i$  — индекс вязкости  $i$ -го компонента,  $a_0$ ,  $a_1$  — эмпирические коэффициенты,  $\log$  — знак десяти-

тичного логарифма,  $k_i$  — параметр зависимости (3), который вводится для некоторые из  $i$ -х компонент (например, гудрон), а для других  $i$ -х компонент  $k_i = 1$ . На основе индексов компонентов типа (3) линейно рассчитывается индекс вязкости  $I_b$   $b$ -й смеси.

Идентификация параметров модели  $k_i$  основана на лабораторных экспериментах, проверка достоверности модели основана на данных смешения в производстве [10]. Идентификация модели вязкости по индексам имеет особенности, которые состоят в том, что результат расчета — вязкость смеси  $v_b$  не зависит от величин коэффициентов  $a_0, a_1$  в (3). Поэтому для адаптации модели для некоторых компонентов введены дополнительные параметры  $k_i$ .

При идентификации моделей смешения по индексам для расчета других показателей качества нефтепродуктов возникают аналогичные проблемы.

#### Проверка базовой модели в условиях неполной информации

Базовая модель описывает текущее состояние завода в сложившихся условиях: по количеству и качеству получаемых нефтепродуктов, по качеству и объему перерабатываемого сырья. Эти результаты расчета по базовой модели сравниваются с фактическими результатами работы завода за год, и таким образом определяется достоверность модели.

Кроме того, при необходимости базовая модель позволяет также рассчитать технологические возможности завода в будущих периодах по переработке сырья и производству продукции при изменении качества сырья, объема переработки на имеющемся оборудовании, изменении нормативов по качеству продукции и потребности рынка сбыта. По результатам такого расчета достоверность базовой модели проверяется экспертно по количеству товарных нефтепродуктов.

Обычно для идентификации параметров подмоделей берутся отчетные данные за один год, в том числе данные об исследовании поступающей нефти и качестве нефтепродуктов. Эти данные достаточны для оценки параметров подмоделей установок, смесей и моделирования качества нефти. При таком способе идентификации параметров базовой модели сравнение расчетного баланса завода по модели с фактическим балансом за год является дополнительной проверкой достоверности модели.

Однако на ряде заводов средней производительности и мини-заводах исследование нефти регулярно не производится ввиду того, что поступает разное нефтяное сырье от разных поставщиков, постоянное исследование всего нефтяного сырья дорого и требует больших трудозатрат в лаборатории. В этих случаях нефть анализируют примерно один раз в год, а также при начале добычи на месторождении или в начале поставки на завод. Такие данные являются недостаточно представительными, поскольку не содержат информации об отклонениях качества сырья от среднего.

В таких случаях необходимо проверить достоверность базовой модели по имеющимся неполным данным, при этом сравнение расчетного баланса завода по модели с фактическим балансом за год будет основным способом проверки достоверности модели. Результаты такого расчета на базовой модели по производству всех видов товарных нефтепродуктов и по загрузке установок сравниваются с фактическими результатами работы завода за год. Таким образом определяется достоверность модели по количеству всех произведенных товарных нефтепродуктов и загрузке установок.

Расчет качества сырья вторичных процессов и товарных продуктов является дополнительной проверкой достоверности модели. Для этого расчетные данные сравниваются с фактическими данными анализа качества и при необходимости корректируются зависимости качества продуктов установок от качества сырья.

#### Модели вариантов развития НПЗ

Для реконструкции НПЗ предлагаются варианты, для расчета которых разрабатывается модель завода, включающая один или несколько вариантов развития. Модель варианта развития разрабатывается на основе базовой модели и технических предложений по новым и реконструируемым процессам. При создании модели варианта реконструкции завода в базовую модель добавляются подмодели новых и реконструируемых установок. В модель также включаются изменения рыночной ситуации, требований к качеству и другие ограничения.

В результате расчета каждого варианта должно быть определено, как реализованы поставленные задачи, и какова маргинальная прибыль при данном варианте реконструкции. Поставленные задачи включают повышение качества продукции, выполнение современных экологических требований к топливам, ликвидацию устаревших производств, выпуск новых продуктов, производство продуктов в соответствии с возможностями сбыта с учетом экспорта, автоматизацию производства и др. Экономическую эффективность варианта развития и реконструкции завода определяют путем сравнения маргинальной прибыли варианта с прибылью базового варианта. Значения маргинальных прибылей в дальнейшем используются для определения интегральных показателей эффективности варианта таких, как чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма прибыли (IRR) и срок окупаемости.

Расчет модели варианта развития, как и расчет базовой модели, выполняется методами моделирования и оптимизации в системе RPMS [7] или в другой системе моделирования. В результате моделирования определяются параметры линеаризованной модели, а затем решается задача линейного программирования (ЛП). После получения решения проверяется точность моделирования. Этот процесс рекурсивно повторяется до получения заданной точности мо-

делирования и линеаризации. Сложность модели на один период в основном определяется числом переменных, ограничений и числом нелинейных зависимостей, которые линеаризуются в процессе решения. Система включает средства контроля рекурсий и корректировки параметров процесса вычислений так, чтобы обеспечить сходимость модели, а также анализировать результаты при неудовлетворительной скорости сходимости.

В моделях на один период различных НПЗ задача ЛП имеет размерность в пределах от нескольких сот до 10 тыс. переменных. Сходимость процесса рекурсий зависит от сложности и корректности модели. Обычно для модели завода достаточно 5...20 рекурсий для сходимости с требуемой точностью.

При выборе варианта реконструкции и развития длительность строительства новых установок, как правило, не учитывается. Для реализации выбранного варианта развития НПЗ необходимо длительное время на проектирование, строительство, поставку оборудования, поэтому программу развития моделируют как многопериодную с учетом времени, необходимого на реализацию каждого этапа реконструкции.

#### Многопериодные модели программы развития НПЗ

Программа для выбранного варианта развития НПЗ учитывает, что во время реконструкции завод продолжает работу и производимые продукты соответствуют стандартам, выполняются капитальные ремонты действующих установок, проводится реконструкция установок, строительство новых установок и вывод из эксплуатации устаревших. Программа развития завода разрабатывается как многоэтапная, каждый этап реконструкции выбирается в соответствии с технологическими и экономическими возможностями компании. Для разработки программы развития и экономического обоснования проводят расчет технологической модели НПЗ по периодам строительства и реконструкции установок в течение общего срока реализации программы развития. В течение реконструкции одних установок действующие установки завода работают в условиях измененной конфигурации технологической схемы. Работа в условиях измененной конфигурации рассчитывается по оптимизационной модели завода на каждый период, например, год или квартал.

Программа развития завода объединяет реконструкцию отдельных установок (этапы или варианты развития) в общую модель, так как реконструкция этих установок выполняется последовательно во времени. При этом моделируется каждый этап развития. Экономическая эффективность определяется для программы развития в целом, а не для каждого этапа реконструкции. На эффективность программы существенно влияет технологическая взаимосвязь этапов реконструкции, а также их последовательность по времени.

Разработка программы развития выполнялась для завода, список новых установок которого показан в табл. 1 в качестве примера. Каждая конфигурация

схемы в табл. 1 соответствует вводу новой установки или комплекса установок. Длительности этапов реконструкции и строительства установок не совпадают с сезонами зима — лето, с началом и окончанием года, и это увеличивает число периодов планирования по сравнению с числом конфигураций.

Сложность оптимизационной модели одного периода характеризуется данными, приведенными в табл. 2. Нелинейные зависимости моделей линеаризуются, далее линеаризованная таким образом задача решается с помощью ЛП-модели, и затем она проверяется на точность линеаризации. Нелинейные зависимости модели связаны в основном с влиянием качества сырья установок на выход и качество продуктов, а также со смесями, для которых рассчитываются показатели качества.

Экономическая эффективность работы НПЗ после завершения программы развития и реконструкции обычно определяется путем упрощенного учета затрат времени на ремонт установок. В этом случае учитывают среднее время ремонта в течение года, равное для всех установок, и средний интервал между ремонтами для всех установок. Например, учитывают 350 дней работы всего завода, предполагая для всех установок в среднем 15 дней простоя на ремонт.

Более точный расчет эффективности можно сделать с учетом капитального ремонта для группы установок (ремонтной цепочки), нормативной длительности ремонта каждой установки, сроков межремонтного пробега установок и сезона года, когда проводится ремонт. Например, если есть три ремонтные цепочки и межремонтный пробег 4 года, то нужно рассчитать с учетом зимнего и летнего сезонов восемь периодов работы. Каждая ремонтная цепочка останавливается на ремонт один раз в 4 года, и с учетом этого в течение одного года нет капремонтов.

На основе таких расчетов по периодам средняя экономическая эффективность за год после завершения программы развития определяется более достоверно. Расчет по периодам будет существенно отличаться от расчета на год одним периодом 350 дней без учета ремонтов и без деления на сезоны зима—лето. Расчет по такой методике был выполнен для крупного НПЗ российской компании. Кроме того, потребовался расчет работы завода в течение ремонта (30 дней) для каждой цепочки с целью выявления узких мест для проектируемой технологической схемы. В настоящее время эта программы развития принята и успешно реализуется.

#### Модель развития нефтехимии при реализации программы развития нефтепереработки

Эффективность программы развития НПЗ определяется при условии ввода в эксплуатацию объектов по производству топлива. Таким образом, модель каждого этапа развития производства топлива является базовой моделью для соответствующего этапа развития нефтехимического производства.

Таблица 1. Порядок ввода новых установок завода

Новые установки	Конфигурация
МТБЭ	Конфигурация №1
Риформинг, производство водорода	Конфигурация №2
АВТ	Конфигурация №3
Комплекс гидрокрекинга	Конфигурация №4
Депарафинизация дизтоплива	Конфигурация №5

Таблица 2. Сложность оптимизационной модели

Элементы задачи ЛП	Размерность задачи ЛП для одного периода
Переменные	2843
Ограничения	4323
Ненулевые элементы матрицы ограничений	26273
Смеси с расчетом показателей качества	94
Зависимости качества продуктов от сырья установок	59

Нефтехимическое производство связано с производством топлива по сырью, компонентам смешения бензина, переработке побочных продуктов, технологическому топливу и производству пара. Это является второй причиной, по которой необходимо рассмотреть взаимосвязанную модель развития производства топлива и нефтехимии.

Разрабатывать одновременно программу развития производства топлива и нефтехимии на практике не получается, поскольку для исследования эффективности различных вариантов развития нефтехимии необходима информация о рынке сбыта, в том числе предварительные соглашения с потенциальными промышленными потребителями в смежных областях. Подготовка такой информации требует значительного времени. По этим причинам разработка программы для нефтехимии производится в условиях, когда программа развития производства топлива уже утверждена и реализуется. Поэтому этапы программы развития производства топлива являются базовыми для разработки программы развития производства нефтехимии.

### Заключение

На основе опыта разработки и применения оптимизационных моделей развития заводов и реализации таких проектов можно сделать следующие выводы.

1. Декомпозиция на финансово-экономическую модель и технологическую модель в задаче перспективного планирования модернизации обеспечивает удобство расчета, анализа результата и получение

приемлемых для заказчика решений. В этом случае используются расчетные итеративные схемы взаимосвязи финансово-экономической модели и технологической модели (рисунок).

2. Расчет поэтапного развития с учетом длительности этапов инвестиционной фазы обеспечивает более точное определение показателей эффективности инвестиций и обоснованный выбор варианта развития.

3. Учет факторов сезонности и длительности остановок на ремонт после завершения реконструкции позволяет более обоснованно определить вариант развития, включая необходимую мощность установок, и сформировать оптимальный состав ремонтных цепочек. Эти факторы приводят к необходимости временной декомпозиции. Для сформированных ремонтных цепочек необходима их проверка с точки зрения технологической реализуемости и эффективности.

### Список литературы

1. *Карибский А.В., Соркин Л.Р., Хохлов А.С., Шишорин Ю.Р. и др.* Методология и практика разработки бизнес-планов реконструкции предприятий химико-технологического типа. М. ИПУ РАН. 1998. 103 с.
2. *Соркин Л.Р., Шишорин Ю.Р., Карибский А.В.* Методология разработки крупномасштабных региональных проектов развития предприятий нефтепереработки / Тр. меж. конф. УКРС-2008. М. ИПУ РАН. 2008. С. 41-54.
3. *Хохлов А.С., Коннов А.И., Шайдуллин Р.А.* Комплексный подход к планированию непрерывного производства // Автоматизация в промышленности. 2015. № 4. С. 36-40.
4. *Артемов С.Б., Бородин П.Е., Владов Р.А.* Программный подход к разработке и внедрению АСУ производством // Автоматизация в промышленности. 2015. № 4. С. 30-35.
5. *Шишорин Ю.Р., Цодиков Ю.М., Мостовой Н.В., Кузнецов К.В., Магу Д.В.* Комплексный подход компании Honeywell к разработке долгосрочных программ развития перерабатывающих предприятий вертикально-интегрированных компаний // Автоматизация в промышленности. 2015. №4. С.53-60.
6. *Рассел Ф. Браун, Шишорин Ю.Р., Ивашкина О.О., Капустин А.В.* Бенчмаркинг российских НПЗ: 15 лет в России // Автоматизация в промышленности. 2015. № 4. С. 42-46.
7. *Цодиков Ю.М., Хохлов А.С., Шишорин Ю.Р., Мостовой Н.В.* Анализ достоверности базовой модели развития нефтеперерабатывающего завода по неполным данным // Тр. 7-й меж. конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2013). Т.1 ИПУ РАН. 2013. С. 127-128.
8. *Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М.* Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. М.: Энергия, 1979. 272 С.
9. *Соркин Л.Р.* Современные технологии управления в нефтегазовом комплексе. М.: МФТИ. 2003. 104 С.
10. *Цодиков Ю.М., Мостовой Н.И., Едигарова В.С.* Расчет вязкости топочного мазута в моделях оптимального планирования // Химия и технология топлив и масел. 2009. №2. С.44-46.

*Шишорин Юрий Раульевич* – канд. техн. наук, доцент, начальник отдела консалтинга департамента высокотехнологичных решений АО «Хоневелл», *Цодиков Юлий Моисеевич* – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

*Мостовой Николай Викторович* – канд. хим. наук, старший консультант,

*Аксенова Татьяна Сергеевна* – консультант отдела консалтинга ООО «Центр цифровых технологий».

Контактный телефон (495) 797-99-43.

E-mail: yuri.shishorin@honeywell.com