

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИИ

Соркин Л.Р., Шишорин Ю.Р., Цодиков Ю.М.

АО «Хоневелл», г. Москва,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва,

ООО «Центр цифровых технологий», г. Москва

yuri.shishorin@honeywell.com, tsodikov@ipu.ru

Раздел 1. Разработка и реализация программ долгосрочного планирования развития предприятий нефтепереработки и нефтехимии

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; взаимосвязь комплекса задач планирования и управления; автоматизация задач планирования НПЗ; долгосрочные программы развития; ЛП-моделирование; оптимизационное моделирование; технологические модели развития, оптимизационные нелинейные модели; оценка инвестиций, финансово-экономические модели, бенчмаркинг-исследования, информационные технологии.

Введение

Первый раздел доклада посвящен применению единого методологического подхода, моделей и методов перспективного планирования производственных систем химико-технологического типа, используемым на практике в АО «Хоневелл» и совместно развиваемым в ООО «Центре цифровых технологий» и ИПУ РАН. Основная проблема состоит в том, чтобы выбрать лучший вариант реконструкции и развития НПЗ, включая новые технологические процессы и перспективную схему завода, а также разработать план реализации выбранного варианта, учитывающий технологические и финансовые ограничения инвестиционного процесса. Эта сложная задача оптимизации актуальна в

современных условиях развития отрасли ввиду значительной стоимости и больших сроков реконструкции [1-13].

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 интернета вещей (IIoT) значительно возросла значимость и роль комплексного подхода к решению задач автоматизации планирования и управления производством.

Важнейшим инструментом перспективного планирования модернизации нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий 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 рис. 1 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.

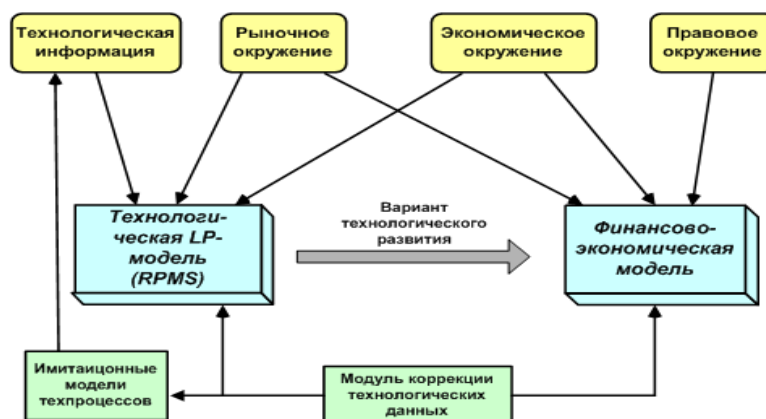


Рис. 1. Информационные связи задач.

Модернизация НПЗ и НХП России и стран СНГ в начале нового века была направлена на одновременное достижение нескольких глобальных целей [1-5]. Во-первых, необходимо было выбрать оптимальный уровень производительности предприятий и максимально увеличить 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) [6-7].

Методологический подход к разработке долгосрочных программ развития НПЗ, лежащих в основе решения задач перспективного планирования, подробно представлен в работе [8]. При этом наиболее интересным с научной и практической точки зрения, на наш взгляд, 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 бенчмаркингвым исследованиям своих действующих нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств, а также к оценке влияния на энергопотребление реализации долгосрочных программ развития и программ повышения эффективности производства [3, 9]. Данный вопрос более подробно рассмотрен в разделе 2 настоящего доклада.

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 в себя данные существующей технологической схемы, качество нефти, качество товарной продукции, производительность установок, производительность объектов ОЗХ, энергетические затраты, возможности вспомогательного производства и т.п. Для новых процессов учитываются проектные данные. Модели разрабатывались с помощью системы RPMS [10-12] и ниже рассматриваются этапы разработки моделей.

1 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. [1, 2]

Модель завода включает в себя 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 по сравнению с базовой моделью. 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 в себя подмодели установок, смешения нефтепродуктов, объектов общезаводского хозяйства (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.

1.1 Моделирование состава нефти и установок первичной переработки (АВТ).

Моделирование состава нефти по фракциям и физико-химические свойства фракций нефти является наиболее сложной задачей при моделировании НПЗ [1, 2, 13]. 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 температур кипения (ИТК) нефти до 500 гр. С. По ИТК определяют потенциальное содержание светлых нефтепродуктов, которые выкипают до 350 гр. С. 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 получаются на АВТ. Поэтому важно при разработке базовой модели использовать библиотеку нефти различных месторождений, которая содержит свойства узких фракций.

1.2 Модели установок вторичной переработки.

Модели установок вторичной переработки (риформинга, гидроочистки, крекинга и др.) строят на основе плановых нормативов и фактических данных [1, 2]. По фактическим данным получают зависимости выхода продуктов от количества сырья вида:

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

где y_i - выход продукта i , x - общее количество сырья установки, $a_i(q_l)$ - коэффициенты выхода i -го продукта, определяемые по отчетным данным, q_l - значение такого l -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. Кроме 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:

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

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 [11, 12]. 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.

1.3 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 [1, 2, 12]. 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 [13]. Индекс вязкости этого компонента определяется по нелинейной логарифмической формуле:

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

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 десятичного логарифма, k_i - параметр зависимости (3), который вводится для некоторых из i -х компонент (например, гудрона), а для других i -х компонент $k_i = 1$. На основе индексов компонент 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 [11]. 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 формуле (3). Поэтому для адаптации модели для некоторых компонент введены дополнительные параметры k_i .

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

2 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.

3 Модели вариантов развития НПЗ

Для реконструкции НПЗ предлагаются варианты, для расчёта 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 [1, 2].

В результате расчета каждого варианта должно быть определено, как реализованы поставленные задачи, и какова маржинальная прибыль при данном варианте реконструкции. Поставленные задачи включают в себя 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 маржинальной прибыли варианта с прибылью базового варианта. Значения маржинальных 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 [10-11] 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 моделирования и линеаризации. Сложность модели на один период в основном определяется количеством переменных, ограничений и количеством 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 10000 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.

4 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 [1, 2].

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 следующей таблице 1 в качестве примера. Каждая конфигурация схемы в таблице 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 количество периодов планирования по сравнению с числом конфигураций.

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

Сложность оптимизационной модели одного периода характеризуется данными, приведенными ниже в таблице 2. Нелинейные зависимости моделей линеаризуются, далее линеаризованная таким образом задача решается с помощью ЛП-модели, и затем она проверяется на точность линеаризации. В таблице приведена размерность задачи ЛП для одного периода. 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.

Таблица №2. Сложность оптимизационной модели.

Переменных задачи ЛП	2843
Ограничений задачи ЛП	4323
Ненулевых элементов матрицы ограничений	26273
Смесей с расчетом показателей качества	94
Зависимостей качества продуктов от сырья установок	59

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 3 ремонтные цепочки и межремонтный пробег 4 года, то нужно рассчитать с учетом зимнего и летнего сезонов 8 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.

5. Модель развития нефтехимии при реализации программы развития нефтепереработки

Эффективность программы развития нефтехимического производства НПЗ определяется при условии ввода в эксплуатацию объектов по производству топлив. Таким образом, модель каждого этапа развития производства топлив является базовой моделью для соответствующего этапа развития нефтехимического производства [1, 2].

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

Разрабатывать одновременно программу развития производства топлив 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 топлив уже утверждена и реализуется. Поэтому этапы программы развития производства топлив 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:

- 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 (рис. 1).
- Расчет поэтапного развития с учетом длительности этапов инвестиционной фазы обеспечивает более точное определение показателей эффективности инвестиций и обоснованный выбор варианта развития.
- 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.

Литература к разделу 1

1. Шишорин Ю.Р., Цодиков Ю.М., Мостовой Н.В., Аксенова Т.С. Оптимизационное моделирование при перспективном планировании предприятий нефтепереработки и нефтехимии – М.: Автоматизация в промышленности, 2018 №12 – С.42-48.
2. Соркин Л.Р., Шишорин Ю.Р., Цодиков Ю.М., Мостовой Н.В., Разработка и моделирование программ долгосрочного развития предприятий нефтепереработки и нефтехимии. Труды 10-й межд. Конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2017). Т.1 - М.: ИПУ РАН, 2017, С. 123-131.
3. Еллерингтон Т., Пауэр П., Шишорин Ю.Р., Аксенова Т.С. Повышение операционной эффективности и бенчмаркинг российских предприятий топливно-энергетического сектора (на примере НПЗ) – М.: Автоматизация в промышленности, 2018 №12 – С.34-41.
4. 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.
5. Соркин Л.Р., Шишорин Ю.Р., Карибский А.В. Методология разработки крупномасштабных региональных проектов развития предприятий нефтепереработки / Тр. межд. конф. УКРС-2008. М., ИПУ РАН. 2008. С. 41-54.,
6. Хохлов А.С., Коннов А.И., Шайдуллин Р.А. Комплексный подход к планированию непрерывного производства. – М.: Автоматизация в промышленности, 2015 №4 – С.36-40.
7. Артемьев С.Б., Бородин П.Е., Владов Р.А. Программный подход к разработке и внедрению АСУ производством. – М.: Автоматизация в промышленности, 2015 №4 – С.30-35.
8. 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. – М.: Автоматизация в промышленности, 2015 №4 – С.53-60.
9. Рассел Ф. Браун, Шишорин Ю.Р., Ивашикина О.О., Капустин А.В. Бенчмаркинг российских НПЗ: 15 лет в России. – М.: Автоматизация в промышленности, 2015 №4 – С.42-46.
10. Цодиков Ю.М., Хохлов А.С., Шишорин Ю.Р., Мостовой Н.В. Анализ достоверности базовой модели развития нефтеперерабатывающего завода по неполным данным // Труды 7-й межд. Конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2013). Т.1 - М.: Институт проблем управления, 2013, С. 127-128.
11. Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. М.: Энергия, 1979. – 272 С.
12. Соркин Л.Р. Современные технологии управления в нефтегазовом комплексе. - М.: МФТИ, 2003. – 104С.

Раздел. 2 Повышение операционной эффективности и бенчмаркинг российских предприятий топливно-энергетического сектора (на примере НПЗ)

В данном разделе рассматриваются бенчмаркинг-исследования российских предприятий топливно-энергетического сектора (на примере НПЗ), как первый шаг на пути к совершенному производству, проводимые компанией Solomon Associates с использованием его запатентованной методологии Comparative Performance Analysis™ - CPA™ (Исследование Solomon) в течение свыше 20 лет при активной поддержке АО «Хоневелл» и его партнера ООО «Центр цифровых технологий». Методология CPA™ включает запатентованные методы сравнительного анализа производства и количественной оценки разрывов в стоимостном выражении. Кратко описываются ключевые показатели конкурентоспособности и эффективности Solomon, приводится сравнение российских предприятий с европейскими НПЗ и мировыми НПЗ-лидерами по основным показателям: энергоемкости (Energy Intensity Index™, EI®), эксплуатационной готовности (OA – Operational Availability), индекса эффективности ремонтных затрат (MEI™ – Maintenance Efficiency Costs Index™). Анализируются динамика развития и ценность Исследований для российских НПЗ, показывается роль и место АО «Хоневелл» и ООО «Центр цифровых технологий» в проведении бенчмаркинг-исследований для российских клиентов. Демонстрируется, что российские заводы значительно повысили операционную эффективность и конкурентоспособность своих топливных производств и имеют большие возможности для дальнейшего совершенствования своих производств. Приводятся направления дальнейшего развития и совершенствования бенчмаркинг-исследований для российских НПЗ (автоматизация проведения Исследования с использованием системы Profile II®, частные и углубленные исследования по системам автоматизации, включая системы усовершенствованного управления (APC), по надежности и ремонтам (HiP), на уровне отдельных технологических установок и т.д.).

Ключевые слова: Comparative Performance Analysis™ (CPA™), Исследование Solomon, показатели конкурентоспособности и эффективности, Energy Intensity Index™ (EI®), эксплуатационная готовность (OA), Maintenance Efficiency Index (MEI™), топливное производство, консалтинг, PEP™, Profile II®, надежность и ремонты (HiP), поддержка проведения бенчмаркинг-исследования.

Введение

Вот уже свыше двух десятилетий предприятия российского топливно-энергетического и нефтехимического комплексов (нефтеперерабатывающая, газоперерабатывающая и нефтехимическая отрасли) при поддержке АО «Хоневелл» используют эталонные показатели Solomon для улучшения своей работы. С ростом количества участников появилась возможность состоятельно оценить улучшения в их работе, сделать эти улучшения существенными и устойчивыми [1-3].

Solomon проводит бенчмаркинг-анализ показателей всей производственно-сбытовой цепочки в нефтегазовой отрасли: от разведки и добычи сырья, до логистики, переработки и сбыта сырья и продуктов. За более чем 35 лет проведения исследований Solomon накопил и располагает данными о тенденциях изменений, так как более 95% компаний **регулярно** участвуют в исследованиях. Бенчмаркинг-исследование топлив проводится на двухгодичной основе, и очередное Исследование пройдет за 2018 операционный год. В России Solomon вместе со своими партнерами Honeywell и ООО «Центр цифровых технологий» очень активно работает в секторах логистики, переработки и сбыта, а также ведет переговоры с рядом компаний в области разведки и добычи по участию их в соответствующих бенчмаркинг-исследованиях.

При этом бенчмаркинг является ключевой частью общего процесса Совершенствования производственных показателей на постоянной основе (Performance Excellence process; или PEP-процесс, см. рис. 1). Через бенчмаркинг завод сможет понять свое действительное положение по широкому спектру показателей по отношению к другим предприятиям в своем регионе, и наряду с инновационными и инвестиционными программами развития разрабатывать программы совершенствования операционной деятельности. По данному направлению Solomon имеет более, чем 20-

летний опыт работы и накопил библиотеку лучших практик, содержащих свыше 4000 позиций. В этом направлении АО «Хоневелл» с ООО «Центр цифровых технологий» также активно поддерживали Solomon.

²² Бенчмаркинг (benchmarking) – конкурентный анализ эффективности работы путем сравнения с лидерами отрасли. Компания Solomon имеет свою запатентованную методологию проведения бенчмаркинга для нефтепереработки: CPA™ Fuels and Lube Studies [1] (аббревиатура от Comparative Performance Analysis™ - Сравнительный анализ эффективности нефтеперерабатывающих производств топлив и базовых масел).



Рис. 1. Путь к производственному совершенству [1-3]

По сути, бенчмаркинг-исследования Solomon стали мировым стандартом (охватывают 85% мировых нефтеперерабатывающих и 75% производственных мощностей олефинов, десятки ГПЗ, свыше 50% мощностей производства базовых масел и т.д.), опираясь на крупнейшие в мире базы данных по показателям операционной деятельности в добыче, транспортировке, сбыте и переработке; возможность сравнения «яблоком-с-яблоками», позволяющую верно определить области для операционных улучшений; данные, являющиеся интеллектуальной собственностью Solomon и его клиентов, а не извлеченные из противоречивых и общедоступных источников [1-3].

Принимая во внимание сложность и разнообразие заводов, высокие капитальные затраты и значительные операционные издержки, нефтеперерабатывающие компании извлекают существенную пользу от использования передовой запатентованной методологии бенчмаркинга Solomon [4]. Сегодня клиентам требуются автоматизированные системы сбора данных для более оперативного получения результатов с меньшими затратами. Для вертикально-интегрированных компаний еще более важно иметь возможность сравнить в едином базисе не только заводы какого-то типа, но и все активы. Иными словами, речь идет о том, возможно ли в рамках единой компании сравнить ремонтные затраты на месторождениях, газо- и нефтеперерабатывающих заводах, трубопроводах, нефтехимических производствах и энергоблоках для выявления активов, которые эксплуатируются наиболее эффективно и на основе этого выявить производственные участки с наибольшим потенциалом для улучшений. Это новая область нашей деятельности, и Solomon уже разработал для некоторых клиентов автоматизированный сбор данных и показатели для вертикально-интегрированных компаний [5].

Ключевые показатели Solomon

Кратко рассмотрим ключевые показатели Solomon. Более подробно эти показатели рассмотрены в работах [1-5]. Solomon оценивает производство с двух точек зрения:

Конкурентоспособность НПЗ. Это показатели работы НПЗ по сравнению с другими заводами на одном и том же рынке. Например, моторные топлива являются рыночным продуктом, и при заправке автомобиля дизельным топливом совершенно неважно знать, кто произвел топливо, а при его покупке важно знать только, сколько оно будет стоить, т.е., прибыльность во многом определяется рыночными ценами. Такой аспект деятельности описывается финансовыми показателями.

Эффективность работы производственного актива. Независимо от его местоположения (Россия или Техас, США) важно знать, как актив эксплуатируется на имеющемся оборудовании и как много он может дать валового дохода и, следовательно, прибыли. Группы затратных и технологических показателей охватывают широкий спектр показателей, которые Solomon использует при бенчмаркинговом анализе.

Опыт российских участников показывает, что наибольший интерес высшего руководства касается индексов ЕИ (Energy Intensity Index – индекс энергоемкости), PEI (Personnel Efficiency Index – индекс эффективности персонала), MEITM (Maintenance Cost Efficiency Index™ – индекс эффективности ремонтных затрат) и ОА (Operational Availability™ – эксплуатационная готовность). Аналогами показателей эффективности PEI и MEI в категории показателей конкурентоспособности являются индекс персонала (PI – Personnel Index) и ремонтный индекс (MI – Maintenance Index) соответственно.

Развитие и польза от бенчмаркинг-исследований в России

Первые исследования в России на регулярной основе начались с 2000 г. и к 2016 г. в них участвовали уже 19 нефтезаводов, представляющих более 80% суммарной мощности российских НПЗ. При этом в мировом масштабе в Исследовании были представлены примерно 85% нефтеперерабатывающих мощностей. Кроме того, к 2016 г. бенчмаркинг-исследованиями, поддерживаемыми АО «Хоневелл» и ЦЦТ, было охвачено 7 российских производств базовых масел, 12 газоперерабатывающих заводов и три ведущих нефтехимических производства. При этом АО «Хоневелл» и ЦЦТ яв-

ляются официальными авторизованными партнерами Solomon Associates на территории России и стран СНГ в части поддержки бенчмаркингowych исследований по нефтепереработке, нефтехимии и газопереработке, и их вклад в развитие этих исследований в России стал критически важным [1].

Среди тех показателей, которые чаще всего контролируются, используются и отражаются в отчетах, можно отметить три показателя – индекс энергоёмкости (ЕИ® – Energy Intensity Index™), индекс эффективности ремонтных затрат (МЕИ™ – Maintenance Efficiency Costs Index™) и показатель эксплуатационной готовности (ОА – Operational Availability™) [5]. ЕИ отражает, насколько эффективно нефтеперерабатывающий завод использует энергоресурсы, а МЕИ является мерой эффективности проведения ремонтов с точки зрения стоимостных затрат на их осуществление. В обоих случаях, чем меньше значение показателя, тем лучше. Более подробно показатели рассматриваются в работе [1]. При этом затраты на энергоресурсы часто составляют более 50% от суммарных операционных затрат НПЗ (OpEx). Эксплуатационная готовность (ОА) отражает надежность работы завода и описана более подробно в следующих разделах настоящей статьи.

НПЗ из репрезентативной группы последних пяти Исследований топливных производств существенно снизили как потребление энергоресурсов, так и затраты на труд, а также значительно повысили свою эксплуатационную готовность, превысив и оставаясь стабильно выше средних значений по Исследованиям²³. В группе из шести заводов, которые участвовали во всех Исследованиях, начиная с 2004 г., энергопотребление снизилось приблизительно на 30%, а индекс эффективности персонала улучшился примерно на 33% [1]. Далее рассмотрим, как российские НПЗ выглядят на фоне НПЗ остального мира и на фоне мировых НПЗ-лидеров.

Повышение операционной эффективности российских НПЗ

Solomon, начиная с 2014 г. стал определять мировых НПЗ-лидеров, используя определенный набор критериальных показателей. НПЗ-мировые лидеры характеризуются масштабностью – стремлениями быть большими по мощности и более сложными технологически; современными и своевременными технологиями – на своем рынке уже инвестировали средства в нужные технологии в нужное время; культурой производства – постоянным совершенствованием, являющимся драйвером достижения высоких производственных показателей; надежностью – высокой эксплуатационной готовностью, высокой валовой маржой и, как следствие, сокращением затрат на ремонты; эффективностью – инвестированием в энергосбережение и другие управляемые сферы производства. Мировые НПЗ-лидеры могут быть в 1-м квартиле по неэнергетическим денежным затратам, но быть во 2-м квартиле по другим показателям эффективности. При этом необходимо отметить, что простое сокращение эксплуатационных затрат не является правильным решением. 1-й квартиль по неэнергетическим денежным операционным затратам является результатом правильно сделанных инвестиций в достижение высокой надежности, разработку и внедрение инноваций, и культуру непрерывных улучшений. Опыт показывает, что лидеры допускают, чтобы затраты на ремонты и персонал находились во 2-м общемировом квартиле, но результаты мирового анализа показывают, что все мировые НПЗ-лидеры обладают относительно низкой численностью персонала по сравнению с другими НПЗ в своем регионе. Отметим также, что высокая эксплуатационная готовность (ОА) является ключевым фактором, помогающим достичь хорошего уровня использования технологических мощностей, энергоэффективности и рентабельности инвестиций, а также высоких показателей конкурентоспособности, включая чистую денежную маржу. В целом мировой НПЗ-лидер сфокусирован на непрерывных улучшениях с помощью внедрения Процесса совершенствования своих производственных показателей, показанного выше на рис. 1.

На рис. 2 можно увидеть, что среднее значение ОА по российским НПЗ в бенчмаркинговом Исследовании за 2016 год значительно ниже ОА не только, чем у мировых НПЗ-лидеров, но и у остальных НПЗ мира. На остановках на капремонты сфокусированы все мировые НПЗ-лидеры. Только у двух из 11 мировых лидеров доля остановов на капремонты превышает 2% годового времени. Среднее значение по России – более, чем вдвое выше (4,5%).

Для сравнения работы НПЗ выбраны показатели ЕИ, РЕИ и ОА. Эксплуатационная готовность (ОА) является наилучшим показателем надежности в Исследовании топливных производств. Все представленные здесь показатели (ЕИ, РЕИ и ОА) были реиндексированы, то есть показаны как относительные, а не абсолютные значения показателя.

²³ Репрезентативная группа включает НПЗ, которые участвуют в Исследованиях постоянно.

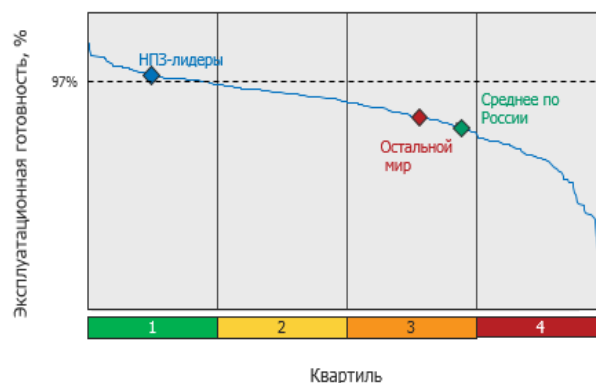


Рис. 2. Эксплуатационная готовность. Исследование за 2016 г. – все участники по миру [2, 3]

Более высокая эксплуатационная готовность характеризует надежность работы НПЗ и является результатом применения хороших практических подходов в области надежности и ремонтов. В общем случае видно, что НПЗ с высокой эксплуатационной готовностью имеют более низкие затраты на ремонты и техобслуживание, чем заводы с более низкой готовностью. Для снижения затрат на ремонты и техобслуживание следует повышать надежность и готовность, а не сокращать затраты и одновременно надеяться на повышение надежности. Результаты бенчмаркинг-исследований показывают, что экономия на ремонтных затратах без соответствующего повышения надежности производства не дает в конечном итоге повышение эксплуатационной готовности и не приводит в дальнейшем к снижению суммарных операционных затрат.

Показатели готовности в трех последних циклах исследований приведены на рис. 3, где значения показателя эксплуатационной готовности реиндексированы. Из рисунка видно, что на протяжении трех последних циклов Исследований (с 2010 по 2014 г.) репрезентативная группа российских НПЗ демонстрировала повышение эксплуатационной готовности, и темп ее роста был выше, чем у репрезентативных групп НПЗ Западной, Центральной и Южной Европы. Эксплуатационная готовность не настолько высока, как у НПЗ Западной Европы, но российские заводы движутся в правильном направлении. Внедрение Процессов совершенствования производства в практику планирования и проведения капремонтов помогли в 2010-14 гг. европейским и российским НПЗ сократить воздействие останова на капремонты на свою готовность. Интересно отметить, что в 2016 г. российские и западноевропейские НПЗ не продемонстрировали существенного улучшения показателя эксплуатационной готовности (поэтому данные за 2016 г. не приведены на рис. 3).

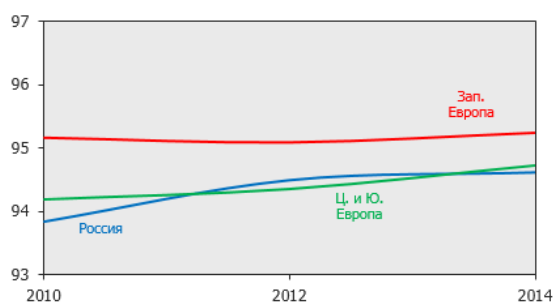


Рис. 3. Показатели готовности на трех последних циклах исследований [1, 2].

Показаны как относительные, а не абсолютные значения эксплуатационной готовности. Единица измерения (коэффициент реиндексирования) есть разница по сравнению со средним значением в абсолютных процентных пунктах

Высоких значений по валовой марже и низких по ЕП невозможно достичь без высокого уровня использования технологических мощностей. В среднем мировые НПЗ-лидеры имеют самые высокие показатели использования технологических мощностей – что ведет к более высоким энергоэффективности и рентабельности инвестиций. При этом Исследования показали, что среднее значение ЕП российских НПЗ составляет 150% от среднего по НПЗ-лидерам. Это значит, что российские НПЗ потребляют не менее, чем на 50% больше энергии по сравнению с мировыми НПЗ-лидерами аналогичной конфигурации.

Почему российские НПЗ потребляют так много энергии? Отчасти это связано с низкой стоимостью энергии в России (их энергосберегающие проекты имели в последнее время большие периоды окупаемости инвестиций), отчасти из-за своей технологической конфигурации и проектирования, исторически не ориентированного на энергосбережение.

Solomon обнаружил, что наиболее эффективные НПЗ обладают культурой непрерывных улучшений с высокой концентрацией усилий и внимания на энергетике. НПЗ-лидеры имеют небольшие системы производства пара и не используют пар в качестве теплоносителя, преимущественно они используют теплопередачу с помощью нагреваемых потоков углеводородного сырья и продуктов.

Тем не менее, энергоэффективность российских НПЗ, как и заводов Центральной и Южной Европы, непрерывно улучшается (рис. 4). При этом российские НПЗ становятся все более энергоэффективными, и у них остаются возможности для дальнейших улучшений. При этом эффективность НПЗ Западной Европы улучшается гораздо медленнее, поскольку они намного более эффективны, чем НПЗ остальных групп. Это означает, что даже при существенном улучшении показателей у российских заводов остались большие возможности для дальнейшего повышения энергоэффективности. Целесообразно отметить важность достижения хороших сбалансированных значений по широкому кругу производственных показателей. При этом маловероятно попадание в группу мировых НПЗ-лидеров путем выработки и реализации поспешных сиюминутных решений, не дающих улучшения показателей даже в среднесрочной перспективе (2-3 года), или за счет изменения рыночной конъюнктуры.

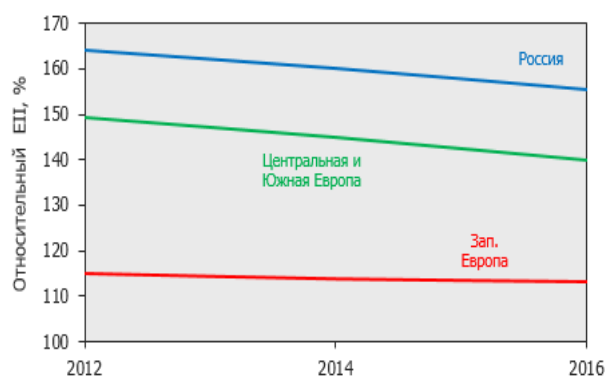


Рис. 4. Динамика относительного индекса энергоёмкости (ЕП). [1,2]

Относительный ЕП = Средний ЕП по группе сравнения / средний ЕП по мировым НПЗ-лидерам * 100.

Исследования показали [1-3], что НПЗ российской репрезентативной группы учились работать более эффективно с большей скоростью, чем их европейские конкуренты и мировые НПЗ-лидеры, но трудозатраты на российских НПЗ по-прежнему остаются намного выше, чем у других заводов. Мы обнаружили, что НПЗ с более низкой эксплуатационной готовностью, как правило, имеют более высокие ремонтные затраты, что указывает на более высокие трудозатраты. В свою очередь, чем больше выполняется ремонтных работ, тем выше соответствующие административные и управленческие затраты. Вопрос, как пройти путь к производственному совершенству и приблизиться к мировым лидерам, а в перспективе стать одним из них, освещается в следующем разделе.

Путь к производственному совершенству

Методология Solomon совершенствования операционной деятельности – это процесс сокращения разрывов без капитальных затрат, т.е. внедрение лучших практик; максимизация валовых доходов; создание условий для устойчивого улучшения производственных показателей, позволяющий клиенту внедрять лучшие производственные практики, максимизировать валовую маржу, становиться более эффективным, формировать окружающую обстановку и культуру производства с целью обеспечения устойчивости изменений. При этом выделяются четыре ключевых фактора достижения совершенства [2,3]:

- Фокус на надежность
- Сокращение времени на проведение капитальных ремонтов
- Фокус на повышение валовой маржи (максимизация использования мощностей технологических установок, дающих наибольший вклад в маржу);

- Фокус на повышение энергоэффективности, охватывающий постоянный мониторинг энергопотребления и сведение энергобаланса на ежедневной основе; поиск стратегических и инвестиционных возможностей по энергосбережению в комбинации с другими направлениями развития и повышения операционной эффективности. При этом капитальные ремонты играют ключевую роль в достижении высокой эксплуатационной готовности.

Специально разработанная Solomon PEP-методология²⁴ предназначена для ускорения процесса внедрения изменений. Бенчмаркинг помогает организации пройти через фазу отрицания программы изменений (рис. 11), увидеть, где находится предприятие по любому направлению деятельности. Далее Solomon помогает преодолеть сопротивление, используя накопленный опыт исследований и объемные данные бенчмаркинг-анализа.

Типичный путь к устойчивому повышению операционной эффективности, в ходе которого завод применял PEP-методологию компании Solomon, показан на рис. 5 [1-5]. Из рисунка видно, что путь из отстающих (нижний правый квадрант) в мировые лидеры (верхний левый квадрант) занял у НПЗ 20 лет. При этом в течение первых 10 лет (1994-2004 гг.) НПЗ сначала вкладывал средства в ремонты и повышение надежности (рост относительной эффективности ремонтных затрат на оси абсцисс в течение этого периода), и только по достижении необходимого уровня надежности в 2004 г. (эксплуатационная готовность на уровне 96-97% на оси ординат) у НПЗ стали резко снижаться ремонтные затраты. Это позволило заводу в течение следующего десятилетия (2004-2014 гг.) выйти в мировые лидеры по надежности и ремонтам.

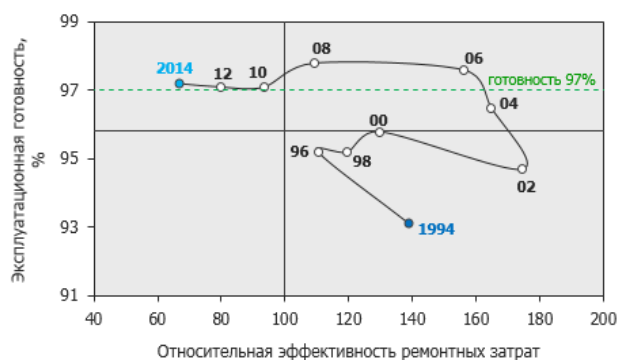


Рис. 5. Путь к производственному совершенству [2]

Выводы

Исходя из результатов Исследования Solomon для топливных производств российских нефтяных компаний, в последние несколько лет процесс операционных улучшений на российских НПЗ шел быстрыми темпами. Исследования Solomon для топливных и масляных производств, газоперерабатывающих и нефтехимических производств по надежности и ремонтам показывают, что показатели энергоемкости, эффективности персонала и надежности российских НПЗ улучшаются, ремонтные затраты по отношению к Западной Европе возрастают, но также растет и готовность российских НПЗ. Однако достигнутые значения этих основных индексов говорят и о том, что у российских заводов все еще остаются большие возможности для дальнейшего совершенствования.

При этом все российские участники бенчмаркинг-исследований и сам Solomon отмечают весомый вклад и экспертизу АО «Хоневелл и ЦЦТ в успешное проведение исследований и консалтинговых проектов Solomon на территории России и стран СНГ на протяжении вот уже более 20 лет.

Сравнение показателей работы НПЗ в Исследованиях Solomon позволяет всем участникам, в том числе российским, извлекать новые уроки, среди которых, например, необходимость достижения и поддержания операционной готовности на уровне не ниже 97%, необходимость тщательно контролировать и сокращать потребление пара, факт того, что НПЗ-лидеры имеют различную организационную структуру [1-3]. Другой важный вывод – лидеры совершенствуются быстрее остальных. Поэтому для тех, кто хочет присоединиться к ним, Solomon разработал новые решения, отвечающие стремлению российских заводов совершенствоваться быстрее.

²⁴ Методология совершенствования производственных показателей (от Performance Excellence Process Methodology).

Литература к разделу 2

1. Браун Р.Ф., Шишорин Ю.Р., Ивашкина О.О., Капустин А.В. бенчмаркинг российских НПЗ: 15 лет в России // Автоматизация в промышленности, 2015, № 4. – С. 46-53.
2. Эллерингтон Т., Пауэр П., Шишорин Ю.Р., Аксенова Т.С. Повышение операционной эффективности и бенчмаркинг российских предприятий топливно-энергетического сектора (на примере НПЗ) – М.: Автоматизация в промышленности, 2018 №12 – С.34-41.
3. Ю.Р. Шишорин, В.И. Рыбкин, Т. Эллерингтон, П. Пауэр. Повышение операционной эффективности и бенчмаркинг российских предприятий ТЭК // Докл. на 11-й Российской технологической конференции Хоневелл, Москва, сентябрь 2018 г.
4. United States Patent: 7,233,910. Awarded: Jun 19, 2007 - System and method for determining equivalency factors for use in CPA of industrial facilities. / M. J. Hileman, R. Broadfoot, R. B. Jones.
5. Solomon EIT™ – Proprietary Trademark, Reg. No, 78,969,772, PEIT™ – Proprietary Trademark, HSB Solomon Associates LLC / US Patent and Trademark Office.