

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕИНЖИНИРИНГА МОДЕЛЕЙ НПЗ/НХК

А.С. Хохлов (ООО "Центр цифровых технологий" МФТИ), Д.Ю. Мишутин (АО "Хоневелл"),
Е.С. Баулин (ООО "Центр цифровых технологий" МФТИ)

Реинжиниринг применяемых моделей производства на предприятиях типа НПЗ/НХК и их эксплуатация показывают, чем нужно руководствоваться, чтобы их использование повысило эффективность производства и компетенцию его специалистов. Для выбранного типа объектов рассматривается специфика моделей расчета текущих и календарных планов. Предлагается выстроить сетевую инфраструктуру поддержки моделей, включающую виртуальную команду специалистов ключевых служб основного производства с независимым координатором во главе. Этот подход распространяется на структуры типа вертикально-интегрированных нефтяных компаний и нефтехимические кластеры.

Ключевые слова: реинжиниринг, модель производства, информационно-коммуникационные технологии, обратная связь, саморегуляция, виртуальная команда, план производства, оптимизация, линейное программирование, текущее планирование, календарное планирование, составление расписаний, агрегирование, актуализация, аддитивность, асинхронность, нефтепереработка.

Введение

Постиндустриальная эпоха предполагает постоянный рост компетенций сотрудников предприятий. Ключевым инструментом при этом являются цифровые модели как отдельных технологических процессов, так и их объединений для производства товарной продукции и оказания услуг. Моделирование широко применяется в управлении нефтеперерабатывающими заводами и нефтехимическими комбинатами (НПЗ/НХК) и их объединениями. Объясняется это тем, что моделирующие системы позволяют аккумулировать знания о технологических процессах, их взаимодействии и экономике.

Прогресс информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) существенно расширяет возможности применения этих знаний за счет интеграции систем управления и кооперации сотрудников в сетевой среде предприятия, обладающей современным уровнем мультисервисности. Более чем 25-летняя практика применения систем моделирования свидетельствует о постоянном повышении требований к детализации моделей, представлению результатов и их интерпретации и, соответственно, к расширению функциональности средств моделирования, что, в свою очередь, ведет к появлению новых требований. Такой цикл порождает обратную связь, которая на основе излагаемых ниже принципов «5А» создания и модификации моделей [1] позволяет корректно удовлетворить современные требования к моделированию производства, что является необходимым условием

распространения знаний на предприятии и стимулирования роста компетенций его сотрудников¹.

В статье излагается подход к реинжинирингу моделей производства и их эксплуатации на основе принципов «5А» и возможностей ИКТ, способствующий повышению эффективности моделирования сложных структур типа НПЗ/НХК и их объединений в вертикально-интегрированные нефтяные компании (ВИНК) и нефтехимические кластеры (на примере Нижнекамского нефтехимического кластера (ННХК)) [2].

Цикл «5А» и моделирование

Эффективная эксплуатация систем оптимизационного моделирования указанных объектов для планирования их работы [1] предполагает выполнение принципов «5А» — Агрегирование, Актуализация, Адаптация, Аддитивность, Асинхронность. Рассмотрим эти понятия в их взаимосвязи на примере объектов НПЗ/НХК или их комплексов. Покажем, что принципы «5А» формируют цикл, и создают обратную связь в триаде «аналитик—модель—производство», обеспечивая ее саморегуляцию при работе с моделью.

Агрегирование модели в рассматриваемом контексте — это принимаемый уровень ее детализации в широком смысле, включая выбор зависимостей (линейных, нелинейных), способов моделирования (аналитические функции, по нормативам и т.п.), декомпозицию на подмодели. При разработке модели

¹ В журнале «Автоматизация в промышленности». 2018. №12 представлены разработки ООО "Центр цифровых технологий".

и внедрении системы планирования это прерогатива внешнего консультанта при согласовании с руководством предприятия. На стадии эксплуатации при работе с моделью на объекте этим должен заниматься аналитик с группой специалистов, получая при необходимости поддержку от внешнего консультанта и/или разработчика системы моделирования.

Особенность агрегирования потоковых моделей объектов НПЗ/НХК (то есть моделей в форме материальных и энергетических потоков) определяется необходимостью проследить детальные свойства потоков — от перерабатываемого сырья для каждой установки до компонентов ассортиментного набора товарных нефтепродуктов и их показателей качества (п/к) по ГОСТ/ТУ. Поэтому далее основное внимание уделим оценкам п/к потоков и отражению их влияния в подмоделях установок. Остальные вопросы агрегирования бесспорно важны [3], но не имеют столь принципиального характера при моделировании указанных объектов.

На НПЗ России, как правило, нефть поступает в товарно-сырьевой цех (ТСЦ) по нефтепроводу в виде конкретных партий [4]. Далее её перерабатывают на установках АТ/АВТ, следя, как минимум, за данными ходового контроля по ней (SPG-плотность, SUL-содержание серы) и по выходным дистиллятам (SPG, SUL и разгонка по ГОСТ 2177-99). Выявлять детальные свойства нефти в лаборатории НПЗ слишком трудоемко, а, значит, нужна регулярная оценка этих свойств по паспортным данным SPG/SUL.

Оценка детальных свойств нефти — это определение набора узких фракций в виде ИТК (истинная температура кипения — разгонка по ГОСТ 11011-85) и перечень их п/к. В качестве оценки по SPG/SUL можно воспользоваться, например, решением задачи наилучшего приближения с использованием БД нефтей с паспортными и детальными п/к [4]. Далее полученная оценка уточняется ходовым контролем выходов и п/к дистиллятов с установок АТ/АВТ, например, в виде разгонки по ГОСТ 2177-99, преобразованной методом Эдмистера в ИТК [5].

Дистилляты, непосредственно или в пуле с другими промежуточными потоками от вторичных установок, являются, как правило, сырьем каталитических процессов, и их п/к позволяют точнее определять количество целевых продуктов. Показатель качества целевых продуктов определяются технологическими особенностями вторичных процессов (например, жесткость режима риформинга влияет на выход реформата и его октановое число), что отражается на долях вовлечения их в товарные нефтепродукты как компонентов смешения. Это косвенное указание на корректность их п/к, а сертификация товарных продуктов через товарный контроль в лаборатории НПЗ позволяет выявлять «отдачу качества», то есть фактическое улучшение п/к продукции по сравнению с требованиями ГОСТ/ТУ при той же отпускной цене.

Потоковая модель, требующая такой детализации, будет иметь высокую вариативность, а, значит, целесообразна оптимизационная постановка, например, линейное программирование (ЛП) как наиболее разработанное теоретически и программно решение для задач большой размерности, при необходимости, с учетом элементов нелинейности. Именно для рассматриваемых объектов в ЛП-модели должны учитываться количественные и качественные показатели выходных потоков (в частности, в их зависимости от п/к входного сырья), что делает модель нелинейной для текущего планирования (с горизонтом от месяца и до года).

Получать календарный план/расписание по суткам/по часам (КПР) на основе ЛП-модели, с учетом ее реальной размерности и частичной целочисленности — задача, практически не выполняемая в промышленной эксплуатации. Поэтому модель КПР требует упрощения, например, за счет декомпозиции потоковой модели по трем переделам. В качестве переделов чаще всего выделяют цеха первичных/вторичных процессов и смешение в ТСЦ, образующие совместный комплекс. Решение сочетает оптимизационные и имитационные подходы [6], а модели каждого из трех переделов рассчитываются последовательно до получения совместного варианта решения.

Моделирование задач класса APS (Advanced Planning & Scheduling) предполагает некое знание о начальном состоянии объектов и прогноз развития событий на производстве в рамках планирования (например, качество перерабатываемого сырья) и вне его (поставка сырья и потребление продукции). Вся совокупность этих предположений имеет определенную степень достоверности (чем короче горизонт планирования, тем достоверность выше, но выше и требования к детализации модели). Назовем сценариями всю совокупность предположений и соответствующие им данные, которые необходимо отразить в модели.

Актуализация модели — это набор действий с моделью в рамках согласованных сценариев подготовки данных и её корректировка по определенным процедурам в сроки, определенные в регламенте расчетов планов средствами моделирования. Актуализация перед решением включает сбор данных с объекта, контроль их достоверности и согласованности; оценку их непротиворечивости согласно принятому уровню агрегирования; коррекцию модели и преобразование ее в необходимый формат для поиска решения. В «продвинутой» версии модели, с учетом нелинейностей, ее коррекция возможна как при поиске решения, так и после него, когда в анализе на допустимость отклонений выявлены несоответствия, и поиск решения повторяется.

Рост требований к уровню детализации моделей стимулировал расширение функциональности систем моделирования, в частности, средств актуализации

в виде дополнительных опций, обеспечивающих интеграцию в информационную среду НПЗ/НХК и автоматизацию связей с системами класса ERP/MES.

Как следствие вышесказанного, расширение функциональности систем моделирования и сочетание различных подходов к агрегированию и актуализации моделей позволяют существенно снизить уровень детализации модели, в то же время упростив ее решение за счет усложнения средств актуализации, что будет рассмотрено ниже. Подобной гибкости при эксплуатации можно достичь благодаря развернутой на объекте инфраструктуре поддержки системы моделирования.

Адаптация означает, что на объекте НПЗ/НХК, где применяется система моделирования, для повышения эффективности ее использования создается инфраструктура поддержки, включая соответствующие инструменты ИКТ, необходимое ПО и команды специалистов (как заводских, так и внешних). Систему расчета производственной программы (текущего плана) на основе ЛП-моделирования внедряет внешний консультант совместно с проектной командой, в которую входит и группа аналитика предприятия. Консультант подготавливает регламент работ по моделированию и выстраивает инфраструктуру внедрения и эксплуатации. Ядром последней становится группа аналитика, которая, взаимодействуя с сотрудниками основных служб, отрабатывает все этапы регламента по подготовке текущего плана с использованием системы моделирования. Регламент включает, в частности, алгоритм действий группы по агрегированию и актуализации ЛП-модели для разных условий производства и информацию, предоставляемую службами предприятия (описание данных, их значения, сроки, ответственных за подготовку).

Рассмотрим подготовку месячного плана производства в выстроенной инфраструктуре. Например, согласно регламенту, последовательность действий группы аналитика может быть такой:

1) разрабатывается сценарий развития событий в предстоящем месяце, и на основе информации служб предприятия предусматривается ремонт одной из ключевых технологических установок в первую декаду месяца;

2) сценарий согласовывается с руководством предприятия, и по нему формируется требуемый уровень агрегирования модели. Из-за ремонта переходят с однопериодной модели на двухпериодную и тестируют модель на корректность внесенных изменений;

3) выбирается способ актуализации модели, соответствующий уровню её агрегирования, с учетом функциональных возможностей системы моделирования; при этом дополнительные опции обеспечат импорт цен и диапазонных ограничений на поставку потребителю товарной продукции по периодам из системы класса ERP предприятия;

4) на первом шаге система моделирования запускается с целью преобразования данных, перевода модели в нужный формат для поиска решения и контроля на

непротиворечивость; подготавливается отчет по операциям для их анализа и устранения возможных несогласованностей;

5) система моделирования запускается на поиск решения, устраняются возникшие некорректности. Полученное решение интерпретируется как производственный план, и подготавливаются требуемые пользовательские отчеты;

6) план производства утверждается на разных уровнях управления предприятия; и после устранения выявленных недочетов и согласования в рамках пп. 1-6 (как правило, итеративно), план передается на исполнение.

Последовательность 1-6, естественно, имеет различные вариации, но ответственность за её корректность при моделировании и подготовке плана несет аналитик. При росте требований к детализации моделей планирования и, соответственно, к инфраструктуре, группа аналитика усиливается новой версией системы моделирования с расширенными функциональными возможностями и встроенными в нее дополнительными опциями для взаимосвязи с ИТ-окружением предприятия [3]. Такой подход, по мнению большинства консультантов/разработчиков, наряду с требованием общей и специализированной переподготовки сотрудников предприятия должен усилить поддержку группы в действиях, подобных пп. 1-6.

Очевидно, что первые три принципа построения модели взаимосвязаны и порождают вышеупомянутый цикл. При этом если аналитик при подготовке плана не укладывается в сроки, у него остается только один выход — оперативно упростить модель и получить любой сколько-нибудь приемлемый план. Таким образом, если при эксплуатации системы моделирования не удастся выстроить необходимую инфраструктуру, это негативно отразится на уровне агрегирования и способе актуализации модели, а когда срыв сроков повторяется, модель будет деградировать, что, к сожалению, часто и происходит на практике.

Наряду с адаптацией при моделировании необходимо принимать во внимание условия вложенности планов на разные горизонты (например, месяц по суткам и квартал по месяцам) и реалистичность заложенных в модели сценариев по мере исполнения планов, что и отражено в следующих двух принципах.

Аддитивность — условия вложенности планов и допустимое рассогласование вложенных планов (отклонение «план-план»), после которого требуется корректировка планов.

Асинхронность — условие допустимого отклонения плана от факта из-за нарушения сценариев, заложенных в формирование моделей.

Эти условия и правила принятия решений должны быть отражены в регламенте при внедрении системы моделирования и будут корректироваться в ходе эксплуатации при возможном переходе к комплексному моделированию и изменениям в стратегии управления предприятием.

При переходе к комплексному моделированию НПЗ/НХК, где наряду с эксплуатацией моделей текущего планирования предполагается, например, внедрить систему КПР, может потребоваться существенное расширение инфраструктуры.

Рассмотрим кратко возможный подход к реинжинирингу инфраструктуры для получения оценок свойств потоков в целях актуализации модели НПЗ [3, 4]. Например, в технологическом отделе и лаборатории организационно выделяются сотрудники, которые, работая в системах класса ЛИМС и используя ИКТ, должны:

- вести БД образцов нефти, идущей на переработку, и ее потенциальных поставщиков; моделировать свойства товарных смесей нефти; преобразовывать данные по фракциям в их требуемый набор в формате моделирующей системы;
- анализировать качество, например, «средней пробы» нефти ГОСТ 2517-2012, поступающей на переработку в текущем периоде, как минимум, по плотности/сере и фракционному составу в виде ИТК;
- использовать программные средства для получения указанных оценок детальных свойств потоков, проверять их корректность и уточнять, в случае необходимости, по данным ходового контроля дистиллятов с установок АТ/АВТ;
- контролировать корректность использования в моделях объектов НПЗ полученных оценок п/к потоков и данных ходового контроля из ЛИМС.

Таким образом, реинжиниринг инфраструктуры позволит расширить ее возможности за счет более активного привлечения сотрудников других служб в определенной части их рабочего времени. Для эффективного встраивания сотрудников в инфраструктуру они должны быть вооружены специализированным программным обеспечением, позволяющим им представлять подготовленную информацию в требуемом для систем моделирования формате. Последнее предполагает необходимую квалификацию этих специалистов по эксплуатируемым на предприятии системам моделирования, что позволит им через ИКТ непосредственно взаимодействовать с группой аналитика при моделировании НПЗ. Далее в этом ключе будут рассмотрены аналогичные аспекты расширения инфраструктуры по переделам первичных и вторичных процессов, смешения в ТСП, общезаводского хозяйства, объединенных в общую потоковую модель.

Подмодели первичных процессов АТ/АВТ в потоковой модели НПЗ

Агрегированные подмодели технологических процессов в потоковой модели должны отражать влияние качества входного сырья на выходы целевых продуктов и их п/к, технологические ограничения оборудования установки, а также учитывать потребление энергии и вспомогательных материалов в зависимости от загрузки.

Для установок первичной переработки подмодель может включать наборы граничных вариантов, где

каждый — это максимальный выход одного из дистиллятов, а далее последовательно, например, сначала отбор максимума дистиллята бензина, затем отбор дистиллята дизельного летнего по требованиям стандарта предприятия и т.д. (при необходимости можно начать с любого дистиллята, чтобы отобрать его максимум).

Актуализация такой подмодели после обновления данных по нефти может обеспечиваться в ЛП-модели автоматически при поиске решения методом ПЛП (последовательное линейное программирование) [3]. Если каждый дистиллят в граничном варианте представить в подмодели как смешение узких фракций нефти по заданному рецепту, то в результате актуализации для него определится выход и набор п/к [3,4].

Для модели текущего планирования, когда для оценки качества нефти или смеси берется, например, «средняя проба» за месяц перед расчетным, актуализация подмодели отразит влияние п/к входного сырья на выходы дистиллятов и их п/к.

Для задачи КПР варианты подмодели первичной переработки должны генерироваться автоматизировано, так как качество поступающей нефти оценивается по текущим данным ходового контроля выходов дистиллятов с этих установок [6]. Подобная процедура позволяет оперативно создать актуализированный вариант подмодели, например, в оптимизационной модели цеха первичной переработки, а результаты расчетов передать на вход имитационной модели цеха вторичной переработки.

Адаптация предполагает, что формирование подмодели АТ/АВТ для ЛП-модели текущего планирования и комбинированной модели КПР должно быть интегрировано с использованием ИКТ в инфраструктуру, а работы с ними должны быть прописаны в регламенте. Это позволит сотрудникам предприятия в соответствии с регламентом участвовать в подготовке планов, их анализе и выполнении. Эти процедуры и контроль результатов на технологическую корректность необходимо передать, например, специалистам цеха первичной переработки, которые прошли подготовку по системам моделирования и работе с ЛИМС.

Подмодели вторичных процессов в потоковой модели НПЗ

Агрегирование подмоделей вторичных процессов (типа крекинг, риформинг) в модели текущего планирования сводится, как правило, к структуре вида «База+Дельта» с учетом технологических ограничений оборудования установки. Для каждого процесса выделяется Q-показатель качества сырья как наиболее полная его характеристика, влияющая на выход целевых продуктов. «База» — это выходы целевых продуктов для заданного QB -значения выделенного показателя качества сырья, а «Дельта» — коэффициент изменения выхода целевых продуктов, когда $QB \neq QT$, где QT — текущий показатель качества сырья.

Актуализация такой ЛП-модели (рис.1.) обеспечивается через структурную взаимосвязь

ЛП-модели/подмодели с детальной моделью этого процесса. Детальная модель работает в используемой на предприятии среде моделирования процессов по данным из MES-окружения установки (измеряемые технологические параметры, ходовой контроль входных и выходных потоков). По результатам решения ЛП-модели определяется нагрузка по сырью и его QT, а по детальной модели — значение выходов для сравнения их с решением. Если расхождения неприемлемы, используют коррекции «База» и «Дельта» в подмодели и решение ЛП-модели повторяется.

При переходе к задаче КПР подмодель необходимо упростить, оставив только «Базу», то есть положить $QB=QT$, и уточнить выходы процесса по его детальной модели, соотнеся их с данными ходового контроля по вторичной установке из ЛИМС.

Адаптация предполагает, что работа с детальными моделями вторичных процессов в среде системы моделирования процессов и контроль их технологической корректности организационно передается сотрудникам цехов вторичной переработки, прошедшим подготовку по системам моделирования и ЛИМС. В результате они встраиваются в инфраструктуру, и их доступ к данным осуществляется через среду ИКТ, что позволяет им непосредственно участвовать в подготовке планов, модификации и анализе их выполнения в соответствии с регламентом. Отметим, что изменение плана возможно только на основе оперативных бизнес-решений, утвержденных руководством предприятия и/или компании.

Подмодели процессов смешения и ТСЦ в потоковой модели НПЗ

Агрегирование в ЛП-модели подмоделей смешения по спецификации — это переход от неаддитивных п/к к их индексам [3], а подмодель ТСЦ — это учет переходящих запасов с предшествующих плановых периодов в обобщенных резервуарах (отражают только суммарный объем по типам компонент и поступающих товарных продуктов).

Актуализация подмоделей смешения в ЛП-модели должна включать уточнение п/к потоков как компонентов смешения и прогноз по запасам топлив в обобщенных резервуарах на начало планового периода.

Агрегирование в КПР подмоделей смешения по спецификации сводится к использованию

рецептурных смесей, где рецепты берутся, например, из детальной модели оперативного смешения (на 2...3 сут.) в среде системы типа Blend [3], используемой в нефтепереработке. Подмодель ТСЦ должна учитывать технологические ограничения, например, скорости потоков, длительности анализов для паспортизации резервуаров товарных продуктов, емкости резервуаров. Влияние этих ограничений начинается с суточных интервалов, и подмодель этого передела работает как имитационная [6, 7].

Адаптация предполагает, что сотрудники, например, производственного отдела, используя модели оперативного смешения, контролируют подмодели смешения в ЛП-модели. Однако основная трудоемкость — это контроль технологической корректности модели КПР и её взаимосвязи с подмоделью ТСЦ, в частности, запасов по компонентам и товарным продуктам. Специалисты должны пройти подготовку по системам моделирования и работе с ЛИМС, что и будет прописано в регламенте. В результате специалисты встраиваются в инфраструктуру и готовят данные для моделей планирования, контролируют выполнение планов и оперативное смешение, а также работу ТСЦ. Доступ специалистов предприятия к этим данным обеспечивается средой ИКТ в соответствии с регламентом подготовки планов.

Подмодели общезаводского хозяйства в потоковой модели НПЗ

Агрегирование подмоделей общезаводского хозяйства в ЛП-модели происходит, как правило, в упрощенном варианте через нормативный учет и коэффициенты пересчета. Это затрагивает снабжение основного производства энергией, теплом, водой, факельные и очистные системы с выделением ловушечного потока на переработку и т.д. Учет потребления энергии и вспомогательных материалов для технологических установок выражен в подмоделях через удельные нормы на нагрузку по сырью или выход целевого продукта. Отметим, что использование ЛП-моделей планирования с детальными подмоделями ТЭЦ, паровых котельных, энергоблоков позволяет более точно рассчитать расход заводского топлива на нужды ТЭЦ, выработку пара и электроэнергетики, минимизировать покупку энергоресурсов (топливо, пар, электроэнергия) [1].

Актуализация норм должна проводиться перед расчетом и при решении с коррекцией (рис. 1), когда

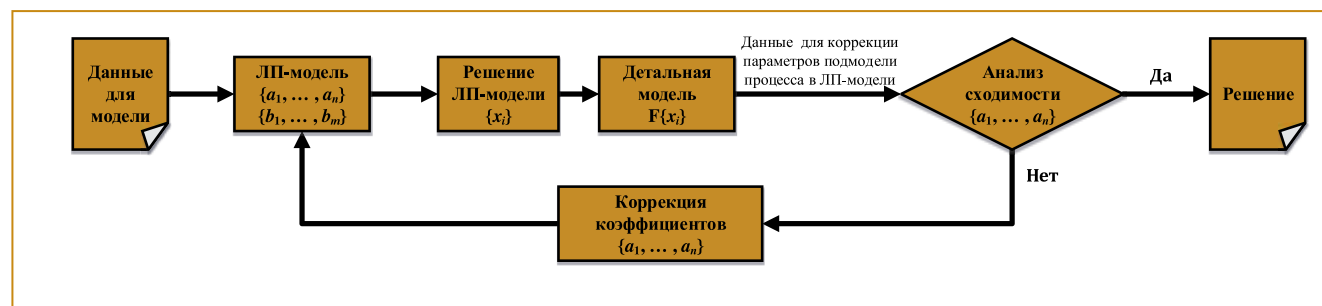


Рис. 1. Взаимосвязь ЛП-модели с детальной моделью процесса

в ЛП-модели предусмотрен учет регрессионной зависимости удельных норм от нагрузки для крупнотоннажных установок [1, 9].

Адаптация предполагает, что контроль за корректностью удельных норм в ЛП-модели в указанных случаях должны обеспечить, например, сотрудники технологического/производственного отделов и служб главного энергетика, непосредственно взаимодействуя со службами контроля и учета различных потоков общезаводского хозяйства. К таким потокам относятся технологические потери по установкам, уровень безвозвратных потерь, соотношение ловушечного потока и т.д.

Кроме того, необходимо также ввести в ЛП-модель и ряд подмоделей, характеризующих экологические параметры оборудования НПЗ, касающиеся выделения различных вредных веществ, и через нормативные коэффициенты оценивать их количество при расчете текущего плана. Данные по нормативным коэффициентам для этих подмоделей могут размещаться в системах класса ERP. Специалисты указанных отделов имеют доступ к этим системам, но дополнительно должны пройти подготовку по системам моделирования для работы с данными и обеспечения их контроля в ЛП-модели, встраиваясь таким образом в инфраструктуру.

Рассмотренные подмодели переделов НПЗ объединяются в потоковую модель, требования к которой представим на примере ЛП-модели НПЗ для получения текущих/стратегических планов и оценки эффективности инвестиционных технологических мероприятий. Далее обобщим эти требования на модели КПП.

Потоковая ЛП-модель НПЗ

Агрегирование ЛП-модели — это принятое и согласованное потоковое взаимодействие рассмотренных подмоделей и «периметр». Последнее — это ограничения рынка и ценовые характеристики потребления сырья, энергии и вспомогательных материалов, поставляемые извне, а также потребляемые рынком товарные продукты/услуги. В зависимости от ремонтных циклов установок и/или изменения цен на планируемом горизонте аналитик принимает решение о необходимом числе периодов ЛП-модели, то есть о необходимости перехода к многопериодности.

Актуализация ЛП-модели отрабатывает изменения потоковых взаимодействий, цен и рыночных ограничений, ремонтных циклов по установкам и с одним периодом, и при многопериодности.

Адаптация предполагает, что за корректностью изменений, вносимых в «периметр» ЛП-модели, следят специалисты коммерческой службы предприятия. Задание ремонтных циклов по установкам, корректность принятого потокового взаимодействия в ЛП-модели и переход к многопериодности контролируют, как правило, специалисты производственной службы.

Соответственно, система для такой сложной ЛП-модели должна в ключевых моментах обеспечивать [3]:

- преобразование данных в подготовленных подмоделях, контроль их потоковой взаимосвязи при формировании ЛП-матрицы модели и предоставление аналитику подробной информации о причинах ошибок;

- эффективный метод поиска экстремума модели в многопериодных вариантах (с учетом структур, представленных на рис.1 и с использованием метода ПЛП); и, как результат, предоставление аналитику подробной информации о поиске экстремума и возникающих некорректностях (отсутствие решения или сходимости метода ПЛП) для их преодоления;

- ведение словарей по потоковым объектам, возможность их взаимосвязи со словарями в ИТ-окружении предприятия, генерацию на их основе стандартных отчетов и требуемых версий пользовательских отчетов;

- средства архивирования вариантов модели с результатами решения и восстановления их для последующей модификации и пр.;

- многопользовательский доступ к модели с возможностью предоставления различных прав пользователям, что соответствует моделированию в сетевой инфраструктуре с использованием ИКТ.

Важной характеристикой системы является ее открытость, позволяющая подключать дополнительное ПО, например, в виде опций, расширяющих функциональность системы для получения оценок п/к потоков, анализа решения, его интерпретации и т.п. В качестве основных направлений расширения функциональности выделим:

- возможность получения оценок п/к потоков и ИТК нефти по апробированным регрессионным зависимостям и номограммам с возможностью настройки на основе ходового контроля из ЛИМС;

- автоматизированную диагностику корректности модели и решения, анализ возможных причин возникновения осложнений (решение не сходится или отсутствует);

- автоматизированную актуализацию и автономную настройку:

- норм расхода утилит в подмоделях в процессе решения (учет переменных норм расхода энергоносителей);

- выходов и качества дистиллятов подмоделей первичной переработки в зависимости от качества сырья и перекрытия нефтяных фракций;

- выбранных нелинейных подмоделей технологических установок и смешения с использованием вспомогательной модели;

- автоматическое построение потоковой диаграммы модели, например, в среде MS Visio для визуализации решения с требуемой степенью детализации и возможностью просмотра отчетов и потоковой схемы на мобильных устройствах (iPad и т.п.);

- средства интеграции систем моделирования и систем класса ERP для обеспечения двусторонней передачи данных посредством файлов требуемого формата;

- возможность инвестиционного расчета по результатам технологического моделирования с экспресс-оценкой и предварительным анализом инвестиционных проектов реконструкции, модернизации и нового строительства НПЗ/НХК [1].

Переход к комплексным моделям КПР предполагает совмещение оптимизационного и имитационного подхода для разных переделов НПЗ/НХК [6-8]. И в этом случае ключевым остается построение эффективной инфраструктуры, соответствующей выбранному уровню агрегирования и способу актуализации.

Пример реинжиниринга взаимосвязанных моделей

В качестве примера рассмотрим предлагаемый подход к формированию инфраструктуры для объекта сложности НПЗ в рамках проекта по реинжинирингу взаимосвязанных моделей, образующих так называемый «комплекс планирования и оперативного смешения». Указанный комплекс обеспечивает получение планов НПЗ от систем КПР до выработки стратегии/инвестиционных мероприятий и оперативный расчет смешения товарных нефтепродуктов. Инфраструктура проекта имеет вид «ансамбля», представленного на рис. 2, где подчеркивается сетевой характер связей между системами, моделями и специалистами. Для её построения руководство НПЗ должно в помощь собственным службам пригласить для управления проектом независимого координатора на аутсорсинге.

Основные направления работы координатора проекта по реинжинирингу.

1. *Формирование виртуальной команды.* Обсуждает с руководством ключевых служб выделение для

проекта на постоянной основе 2...3 специалистов, часть своего времени участвующих в нем. В результате образуется ядро виртуальной команды из 10...12 специалистов ключевых служб НПЗ. При этом каждый сотрудник заводских служб может получить доступ к системам комплекса с определенными правами и виртуально войти в команду.

2. *Регламент и роли.* Разрабатывает регламент работ по проекту с указанием ролей специалистов в команде с учетом специфики их работы в службах, в том числе и с другими системами, и, руководствуясь принципами «5А» и возможностями ИКТ, расширяет тем самым их должностные обязанности и критерии поощрения, оговоренные с руководством служб и НПЗ.

3. *Сотрудничество и конкуренция.* Организует обучение специалистов работе с системами моделирования согласно их ролям, стимулирует внутри команды отношения сотрудничества и конкуренции для более глубокого понимания возможностей систем, используемых на предприятии, и для интенсификации работ над проектом. Поскольку команда виртуальная, подобная практика может заметно расширить круг специалистов, вовлеченных в проект, и, соответственно, поднять уровень их компетентности.

4. *Управление виртуальной командой.* Контролирует выполнение специалистами команды круга работ и сроки их исполнения в соответствии с регламентом проекта. При контроле оценивается соответствие между принятым уровнем агрегирования и способом их актуализации; модели при этом могут корректироваться, а инфраструктура — совершенствоваться. Выявляются причины срыва сроков, принимаются меры по их устранению и, в частности, совершенствуется специализированное ПО, охватывающее разные аспекты взаимодействия с ERP/MES-окружением. Последнее позволит специалистам оперативно получать, подготавливать и представлять для систем моделирования необходимую информацию в требуемом формате, сделав их работу более креативной.

и, в частности, совершенствуется специализированное ПО, охватывающее разные аспекты взаимодействия с ERP/MES-окружением. Последнее позволит специалистам оперативно получать, подготавливать и представлять для систем моделирования необходимую информацию в требуемом формате, сделав их работу более креативной.

5. *Взаимодействие с диспетчером производства.* Это позволяет более четко представлять сценарии развития событий по текущему месяцу и на предстоящий период для того, чтобы актуализировать модели КПР/оперативного смешения и ТСЦ в краткосрочной перспективе и модели на горизонте месяц и более, а также получать оценки их взаимного

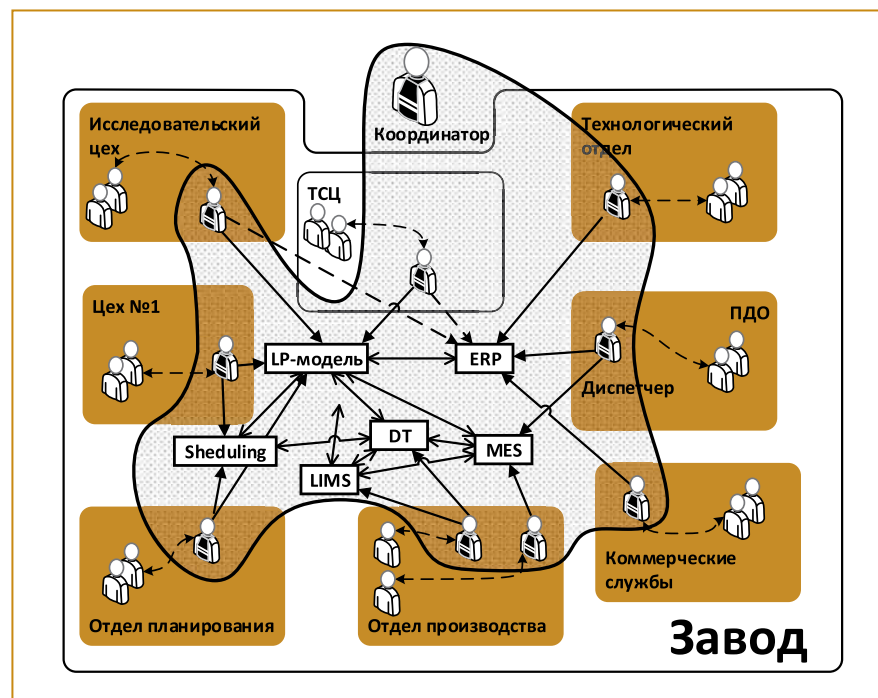


Рис. 2. Инфраструктура моделирования НПЗ

Основные направления работы координатора проекта по реинжинирингу.

влияния, следуя принципу аддитивности. ТанDEM команд диспетчером постепенно позволит расширить применимость систем и моделей в управлении производством и тем самым обеспечит рост эффективности принимаемых решений.

6. *Аддитивность планов — контроль.* Увязывает со специалистами команды планы, например, календарный на месяц, план по месяцам и на квартал. Анализирует отклонение от регламента, в котором должно быть зафиксировано допустимое расхождение между вложенными планами производства.

7. *Асинхронность — анализ возникновения.* Контролирует проводимый в определенные регламентные сроки специалистами команды анализ причин возникших расхождений плана и факта, а также отклонений от сценариев подготовки данных для актуализации модели текущего планирования. Возможно, это потребует коррекции агрегирования этой модели, например, переход с одного периода на много-периодное планирование.

8. *Оценка качества моделирования.* Информировать на оперативных совещаниях руководство ключевых служб и НПЗ о подготовке планов и совершенствовании инфраструктуры, проявившихся осложнениях (возможные нарушения асинхронности и аддитивности) с указанием причин и вариантов соответствующих управленческих решений (в виде оперативных бизнес-решений или временного игнорирования нарушений).

Конечная цель реинжиниринга моделей и инфраструктуры (рис. 2) состоит в создании таких благоприятных условий работы с комплексом, которые позволят постепенно расширить и укрепить виртуальную команду специалистов НПЗ и благодаря росту их квалификации и инициативы дадут руководству возможность перейти к более гибкому управлению предприятием.

В настоящее время практически на всех российских НПЗ руководитель планово-экономической службы отвечает за плановый процесс и имеет внутри службы группу для расчетов планов на моделях в среде оптимизационной системы. Подготовкой модели к расчету, включая сбор и анализ данных от ключевых служб для ее актуализации, получением решения и его интерпретацией занимается, в соответствии с регламентом, группа из 2...3 специалистов во главе с аналитиком. На практике в ходе эксплуатации систем они постепенно начинают воспринимать свою деятельность не в креативном ключе, а как рутину. Причина заключается в отсутствии у специалистов служб-поставщиков данных заинтересованности и компетенций для контроля состояния модели, а также в жестких требованиях к моделям, задаваемых руководством разных уровней для выхода на контрольные цифры, гарантирующие ему необходимые предпочтения.

Риск срыва сроков при планировании может стать поводом для постепенного упрощения модели

и сведения ее до оптимизационного «калькулятора планов», когда план почти совпадает с фактом, а для модели оперативного смешения «отдача качества» минимальна. С регулярностью в 2...3 года предприятием приглашается внешний консультант для инспекции находящейся в промышленной эксплуатации модели. Представляется, что со стороны предприятия квалификации группы аналитика при опыте работы с системой более 10 лет, при заинтересованности в росте компетенций и при необходимой консультационной поддержке, должно быть достаточно для проведения подобной инспекции. Официально цель инспекции модели — ее модификация и совершенствование, что приводит к повторению цикла «5А».

Критичность инфраструктуры на сложных объектах типа НПЗ/НХК для комплексной модели КПР значительно выше из-за оперативности принятия управленческих решений. Соответственно, системы моделирования для КПР без четко проработанной инфраструктуры на объекте, например, даже в варианте с декомпозицией на передель, практически не работают. Фактически аналитик создает авторскую модель в виде разнородной совокупности взаимосвязанных Excel-таблиц, что тоже является своего рода «современным калькулятором» планов и расписаний. Постепенно авторская модель превращается в цифрового монстра, с которым только аналитик и может с трудом справиться.

Рассмотренный выше подход к реинжинирингу моделей и организации их эксплуатации с переходом к «ансамблю» (рис. 2) под управлением независимого координатора представляется выходом из сложившейся ситуации с неэффективным применением моделирующих систем для сложных объектов типа НПЗ/НХК.

Глобальные модели ВИНК и кластеров

Предлагаемый подход к построению «ансамбля» масштабируется на структуры ВИНК или кластеры типа ННХК [2], когда нужна глобальная модель управления комплексом образующих кластер ключевых производственных объектов (рис. 3).

Необходимым условием создания глобальной модели объединения производственных объектов типа ВИНК или кластера является наличие на каждом i -ом объекте детальной потоковой модели $F_i(x)$ и локального «ансамбля» с координатором. Подобные модели позволяют «ансамблю» для каждой из них рассчитать свою группу векторов выходных потоков для разных условий на входе, включая затраты, и корректировать их при необходимости (рис.1). Тогда глобальная модель будет представлять собой ЛП-модель из совокупности групп векторов входа/выхода, потоков взаимосвязи объектов и обобщенного «периметра» для объединения [2]. Для такой ЛП-модели вводятся координатор глобальной структуры с экспертами по моделированию,

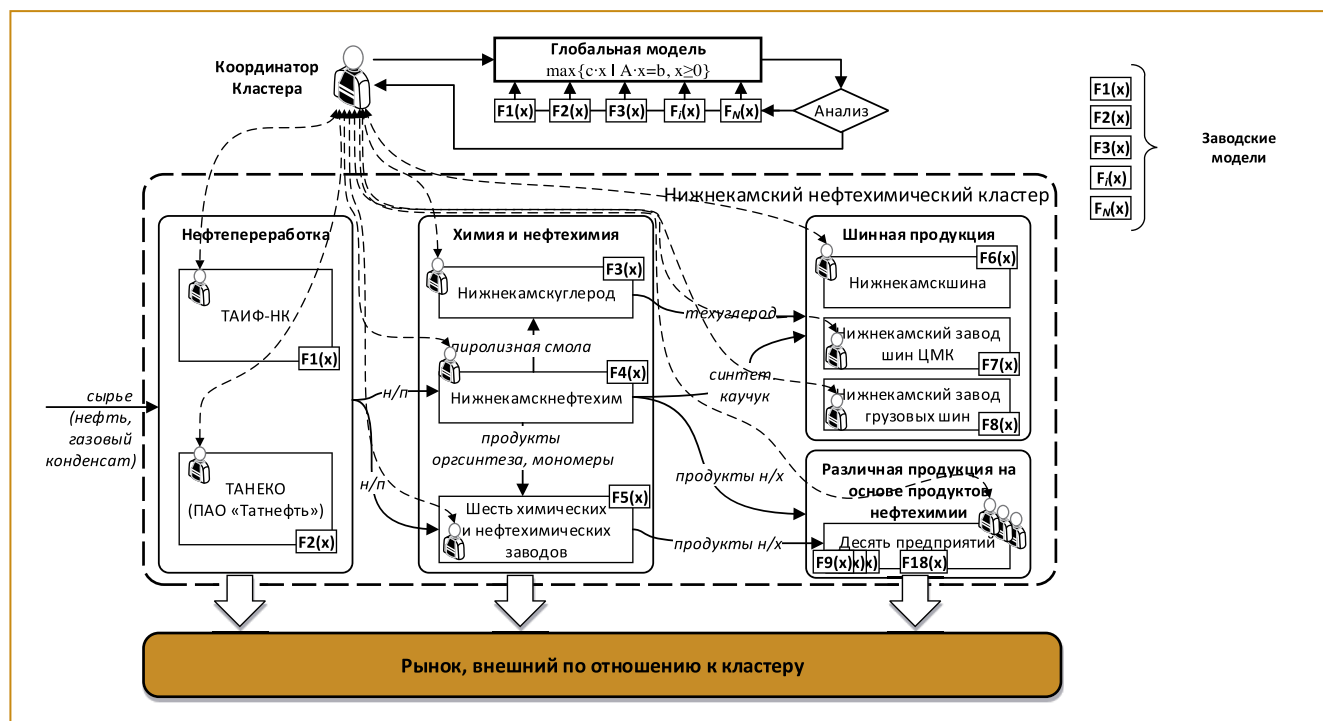


Рис. 3. Инфраструктура для моделирования ННХК (включая локальные инфраструктуры участников кластера)

которые будут в среде ИКТ взаимодействовать с локальными «ансамблями», формируя в совокупности глобальный «ансамбль», моделирующий всю структуру (рис. 3), как в примере с кластером ННХК.

Отметим, что полученная ЛП-модель объединенного объекта является результатом универсального подхода, когда для подобных объектов агрегирование упрощается за счет усложнения актуализации и привлечения локальных детальных моделей (рис.1), что обеспечивает адаптацию через формирование инфраструктуры средствами ИКТ.

Заключение

1. Применение моделирующих систем в управлении объектами НПЗ/НХК и их объединениями с использованием принципов «5А» и ИКТ позволяет аккумулировать в моделях знания о технологических процессах, их взаимодействии и экономике, а потому является эффективным инструментом для роста квалификации сотрудников предприятий, и, как следствие, повышения эффективности производства.

2. При реализации «5А» возникает цикл, создающий обратную связь в триаде «аналитик—модель—производство» и обеспечивающий ее саморегуляцию при работе с моделью. Тем самым выполнение «5А» является необходимым и достаточным условием корректной эксплуатации на производстве систем как оптимизационного, так и имитационного моделирования.

3. Применение принципов «5А» в сетевой инфраструктуре для сложных производственных объектов позволяет повысить эффективность моделирующих систем и, порождая кооперацию и конкуренцию,

стимулирует рост компетенций специалистов и разработчиков систем/моделей. В результате у них может появиться еще один шанс для успешного внедрения систем и моделей КПР производств — непрерывных и дискретных массового характера.

4. Сложные производственные объекты типа НПЗ/НХК и их объединение практически всегда можно представить в виде ЛП-модели за счет усложнения актуализации с использованием детальных моделей входящих в него объектов. Глобальная ЛП-модель предстает в виде взаимосвязи векторов входа/выхода объектов, актуализируемых с использованием детальных моделей как перед решением, так и в ходе его поиска.

5. Расширение охвата ЛП-моделями НПЗ/НХК общезаводского хозяйства за счет включения в них детальных подмоделей ТЭЦ, паровых котельных, энергоблоков, позволит более точно рассчитать расход заводского топлива на нужды ТЭЦ, собственную выработку пара и электроэнергии, минимизировать покупку энергоресурсов. Такой подход станет инструментом энергоменеджмента по выработке направлений снижения значения ЕП-индекса энергоэффективности из методики Solomon Associates [1], являющегося одной из главных характеристик эффективности указанных производств, используемых в России.

6. Система рассмотренного оптимизационного класса является достаточно универсальным инструментом решения широкого круга задач, что позволяет использовать эту среду для получения оценок п/к потоков, анализа решения, его интерпретации и т.п. Привлечение специалистов ИТ-служб

НПЗ/НХК для решения указанных задач позволит снизить затраты на сопровождение ПО, расширить их участие в проектах по реинжинирингу и постепенно сделать более активной их роль в команде.

Список литературы

1. Хохлов А.С., Баулин Е.С., Коннов А.И., Мишутин Д.Ю., Баронин А.Б., Шишорин Ю.Р. и др. Комплекс интегрированного планирования деятельности ВИНК // Автоматизация в промышленности. 2018. №12. С.17–55.
2. 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". 2019. Вып. №3/2(март). С. 136–143.
3. Хохлов А.С., Цодиков Ю.М., Баулин Е.С. Оптимизационные модели НПЗ/НХК и средства их поддержки: Уч. пособие. М.: Издательский центр РГУНиГ им. И.М. Губкина, 2015. 91 с.
4. Хохлов А.С., Демиденко К.А., Цодиков Ю.М., Гайнетдинова А.Н. Оптимизационный расчет товарной характеристики и потребительской ценности нефти: Уч. пособие. М.: Издательский центр РГУНиГ им. И.М. Губкина, 2009. 58 с.
5. Вижгородский Б.Н., Хохлов А.С., Цодиков Ю.М. Оптимизация распределения фракций нефти при первичной переработке // Нефтепереработка и нефтехимия. 1981. №7. С.19–23.
6. Шайдуллин Р.А., Хохлов А.С., Проказина М.В. Имитационные модели в комплексе календарного планирования производства // Автоматизация в промышленности. 2012. №10. С.15–21.
7. Городнова М.В., Хохлов А.С. Имитационный подход к решению задачи календарного планирования и построения расписаний в нефтепереработке // Автоматизация в промышленности. 2018. №12. С.57–64.
8. Коннов А.И., Городнова М.В., Хохлов А.С. Интеграция данных в системах планирования производства // Автоматизация в промышленности. 2018. №12. С.50–56.
9. Baulin E.S., Boronin A.B., and Khokhlov A.S. Rolling Detailed Short-Term Planning of Oil Refineries and Petrochemical Complexes and Optimization Model Updating // Automation and Remote Control. 2015. Vol.76. No.1. Pp.139–146.

Хохлов Александр Сергеевич — д-р техн. наук, проф. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, ведущий консультант ООО «Центр цифровых технологий» МФТИ (ГУ),
Баулин Евгений Сергеевич — канд. техн. наук, директор по разработкам и исследовательской деятельности ООО «Центр цифровых технологий» МФТИ (ГУ),
Мишутин Дмитрий Юрьевич — канд. техн. наук, консультант отдела систем планирования производства, снабжения и сбыта АО «Хоневелл».
 E-mail: box1563@gmail.com, dymish@gmail.com, baulin.es@mipt.ru

Петербургский метрополитен развернул единое информационное пространство для обмена данными

Группа компаний «РАМАКС» совместно с партнерами DATAREON и Docsvision завершила второй этап проекта по формированию единого информационного пространства в ГУП «Петербургский метрополитен» для обеспечения бесшовной интеграции эксплуатируемых прикладных систем, целостности НСИ и эффективного взаимодействия с внешними информационными системами.

Целью проекта является создание взаимосвязанных систем (комплекса) для бесшовной интеграции эксплуатируемых прикладных систем метрополитена, накопления и управления документами, используемыми в прикладных системах, обеспечения целостности, актуальности и достоверности нормативно-справочной информации (НСИ), гармонизации взаимодействия с внешними информационными системами.

В интеграционный контур проекта вошли системы SAP, СЭД Docsvision, «1C:MDM» и «Босс-кадровик», которые были подключены к централизованной системе управления НСИ. Инструментом интеграции между ними выступила корпоративная сервисная шина данных DATAREON ESB.

Команде разработчиков RAMAX предстояло решить вопрос не только хранения документов во внешнем

хранилище, но и обеспечить незаметность происходящих изменений в системе с точки зрения бизнес-процессов для ее пользователей. Для этого решение максимально интегрировано в стандарт SAP по работе с Knowledge Provider (KPro). Масштабность проекта подчеркивается не только объемом миграции данных и обеспечением возможности хранения большого числа файлов, но и тщательной разработкой алгоритмов передачи и создания сложных связей бизнес-объектов и связанных с ними документов, включая систему НСИ.

Внедренное комплексное решение позволило предприятию оптимизировать работу сразу нескольких подразделений, существенно сократив количество итераций на получение той или иной информации, и тем самым повысить эффективность работы в целом.

В русле директив по импортозамещению необходимая заказчику функциональность перенесена на российскую платформу Docsvision. Теперь общий объем хранения в архиве на базе Docsvision составляет более 2 млн. карточек, что эквивалентно 1 Тб занятого пространства. И это только начало, ведь целевой объем хранения может достичь 30 Тб. Архив будет развиваться.

<https://www.ramax.ru>